

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Informatikos ir statistikos katedra

Ernestas Šukauskas

**AKMENOS-DANĖS UPĖS BASEINO HIDROLOGINIS SWAT
MODELIAVIMAS KLIMATO KAITOS SCENARIJŲ ATŽVILGIU**

**HYDROLOGICAL SWAT MODELING OF AKMENA-DANE
RIVER BASIN ON CLIMATE CHANGE SCENARIOS**

Geoinformatikos magistrinis darbas

Geoinformatikos studijų programa 621F74001

Klaipėda, 2018

MAGISTRO BAIGIAMŲJŲ DARBŲ LYDRAŠČIO FORMA

Pildo magistro baigiamojo darbo autorius

..... Ernestas Škauskas
(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Akmenos-Danės upės baseino hidrologinis SWAT modeliavimas klimato kaitos scenarijų atžvilgiu

Hydrological SWAT modeling of Akmena-Dane river basin on climate change scenarios
(magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

Patvirtinu, kad bakalauro/magistro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas baigiamasis bakalauro/magistro darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose.

.....
(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Sutinku, kad bakalauro/magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.

.....
(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Pildo magistro baigiamojo darbo vadovas

Magistro baigiamąjį darbą ginti.....

..... (įrašyti - leidžiu arba neleidžiu)
.....2018..... prof. dr. V. Denisovas

(data)

(magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuriojančios studijų programa, administratorius (sekretorius)

Baigiamasis darbas įregistruotas katedroje

2018

(data)

Laima Brazdeikienė.....
(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuriojančios studijų programą, vedėjas

Magistro baigiamąjį darbą ginti.....

(įrašyti - leidžiu arba neleidžiu)

2018.....
(data)

prof. dr. Arūnas Andziulis.....
(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

Recenzentu(-ais) skiriu.....

.....

.....
(įrašyti recenzento(ų) vardą, pavardę)

.....2018.....
(data)

prof. dr. Arūnas Andziulis.....
(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

Santrauka

Darbo autorius: JMNGE16 gr. magistr. Ernestas Šukauskas

AKMENOS-DANĖS UPĖS BASEINO HIDROLOGINIS SWAT MODELIAVIMAS KLIMATO KAITOS SCENARIJŲ ATŽVILGIU

Geoinformatikos studijų programos magistro baigiamasis darbas

Darbo vadovas: prof. dr. Vitalij Denisov

Klaipėdos universitetas

Jūros technologijų ir Gamtos mokslų fakultetas

Informatikos ir Statistikos katedra

Klaipėda, 2018

Darbo apimtis: 67 psl., 24 lent., 35 pav.

Raktažodžiai: sluoksnis, ArcSWAT, HRU, scenarijus, AD SWAT modelis, upės baseinas, SWAT error checker.

Darbo tikslas - sukurti SWAT hidrologinį modelį ir atlikti parametrų vertinimą mažame Akmenos–Danės upės baseine. Darbo uždaviniai: atlikti Akmenos-Danės upės baseino erdvinį skaitmenizavimą ir sudaryti kuriamo modelio hidrologinius atsako vienetus (HRU); įvertinti AD SWAT modelio rezultatus panaudojant SWAT Error checker vizualizavimo programą; sudaryti klimato kaitos scenarijus ir įvertinti jų poveikį skirtingiems hidrologiniams upės baseino komponentams; sudaryti AD upės baseino prognostinius scenarijus.

AD SWAT modelis buvo vykdomas naudojant ArcSWAT plėtinį ArcGIS kompiuterinėje programoje. Įtraukti 7 įėjimo duomenų rinkiniai: kaukės, DEM, žemės naudmenų, dirvožemio, Lietuvos upių tinklo ir kitų vandens telkinių sluoksniai ir meteorologiniai duomenys. Sukurtas tarpinis HRU duomenų rinkinio sluoksnis, kuriame sugeneruota virš 200 HRU kombinacijų.

SWAT error checker programos pagalba atskleista, kad modelyje verta atkreipti dėmesį į galimus neadekvačius nuosėdų kiekius 28-ame ir 26-ame HRU vienetė, 99,4% NO₃ pašalinama iš dirvožemio profilio, neįprastai mažai fosforo stresinių dienų, mažas N tirpumo santykis nuotėkyje, didžiausias išleidimo koeficientas į AD upę sugeneruojams Padvarių tvenkinyje.

Nustatyta, kad iš pritaikytų 8 klimato kaitos scenarijų didžiausi virš 30% pokyčiai nustatyti 11-oje komponentų taikant CO2RCP6.0 – 8.5 klimato kaitos scenarijų, mažiausi pokyčiai pritaikius

kritulių padidėjimo scenarijų ir labai nežymūs pokyčiai pritaikius labiausiai tikėtinus klimato kaitos scenarijus tiriamoje teritorijoje.

Summary

Author: JMNGE16 gr. stud. Ernestas Šukauskas

HYDROLOGICAL SWAT MODELING OF AKMENA-DANE RIVER BASIN ON CLIMATE CHANGE SCENARIOS

Master thesis in Geoinformatics study program

Supervisor: prof. dr. Vitalij Denisov

Klaipeda University

Faculty of Marine Technologies and Natural Sciences

Department of Informatics and Statistics

Klaipeda, 2018

Work size: 67 pages, 24 tables, 35 figures.

Keywords: layer, ArcSWAT, HRU, scenario, AD SWAT model, river basin, SWAT error checker.

The aim of the work is to create a hydrological model of SWAT and to carry out assessment of parameters in a small Akmena-Dane river basin. Tasks of the work: to perform spatial digitization of the Akmena-Danė river basin and to form hydrological response units (HRU) of the model being developed; evaluate the results of the AD SWAT model using SWAT Error Checker visualization program; to formulate climate change scenarios and assess their impact on the different hydrological components of the river basin; to formulate AD river basin's prognostic scenarios.

AD SWAT model has been developed using ArcSWAT extension in ArcGIS application. 7 input data sets were used: layers of mask, DEM, soil, land use, Lithuania river network, reservoirs and meteorological data set. An intermediate layer of the HRU data set was created, in which over 200 HRU combinations were generated.

By using SWAT error checker program disclosed that it is worth paying attention in the model to possible inadequate amounts of sediment in HRU units of 28 and 26, 99.4% of NO₃ is removed from the soil profile, unusually low phosphorus stress days, low solubility ratio for N in runoff, the maximum final/initial volume coefficient of 5.46 was generated in reservoir 3.

It has been determined that from the adapted 8 climate change scenarios, the largest changes of over 30% were identified in 11 components using the CO2RCP6.0 - 8.5 climate scenario, the

smallest changes in the rainfall increasing scenario and very small changes in the application of the most likely scenarios for climate change in the area under study.

Santrumpų sąrašas

AAA	aplinkos apsaugos agentūra
AD	Akmena-Danė
CO ₂	anglies dioksidas
DDT	dichlorodifenil-trichlorešanas; bespalvis kontaktinis insekticidas, toksiškas žmonėms ir gyvūnams, juos nurijus arba absorbuojant per odą, kuris Jungtinėse Valstijose uždraustas daugeliu atvejų nuo 1972 m.
DEM	skaitmeninis reljefo aukštis
EPA	United States environmental protection agency
ESRI GRID	rastrinis GIS failo formatas, sukurtas "Esri"
FEATURE CLASS	vienodi bendrų funkcijų rinkiniai, kurių kiekvienas turi tą patį erdvinį vaizdavimą, kaip taškai, linijos arba poligonai ir bendras atributų stulpelių rinkinys
HRU	hidrologinis atsako vienetas
IPCC	intergovernmental panel on climate change
Kretingos NV	Kretingos nuotekų valymas
N	azotas
Nemuno UBR	Nemuno upių baseinų rajonai
NSE	Nash-Sutcliffe coefficient of efficiency
P	fosforas
PBIAS	percent bias
PET	potencialus suminis garavimas
R2	determinacijos koeficientas
RCP	representative concentration pathways
SHAPEFILE	populiarus geografinės informacinės sistemos (GIS) programinės įrangos geoerdvinių duomenų vektoriaus duomenų formatas
SWAT	soil and water assessment tool
UTM	universal transverse mercator koordinatų sistema
WGS	world geodetic system

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Žemės ūkio taršos apkrovos Nemuno UBR pabaseiniuose.....	13
2 lentelė. Kiekybiniai AD upės baseino kalibravimo ir validavimo rezultatai.....	14
3 lentelė. ArcSWAT ir QSWAT plėtinių palyginimas.....	15
4 lentelė. Kaukės sluoksnio savybių informacija.....	25
5 lentelė. DEM sluoksnio savybių informacija.....	26
6 lentelė. Žemės naudmenų klasės tipo apibūdinimas.....	27
7 lentelė. Žemės naudmenų sluoksnio savybių informacija.....	27
8 lentelė. Vakarų Lietuvos Dirvožemio savybių informacija.....	28
9 lentelė. Lietuvos upių tinklo sluoksnio savybių informacija.....	29
10 lentelė. Kitų vandens telkinių savybių informacija.....	30
11 lentelė. Žemės naudmenų klasių pasiskirstymas AD upės baseine.....	35
12 lentelė. Dirvožemio klasių pasiskirstymas AD upės baseine.....	36
13 lentelė. Realūs dieninio nuotėkio matavimai AD upės baseine.....	43
14 lentelė. SWAT error checker hidrologiniai procesai.....	45
15 lentelė. SWAT error checker nuosėdos.....	46
16 lentelė. SWAT error checker azoto ciklas.....	48
17 lentelė. SWAT error checker fosforo ciklas.....	50
18 lentelė. SWAT error checker augalų augimas.....	52
19 lentelė. SWAT error checker kiti komponentai.....	53
20 lentelė. Nuotėkių palyginimas skirtinguose SWAT modelių baseinuose.....	60
21 lentelė. Metiniai fosforo kiekiai skirtinguose SWAT modelių baseinuose.....	60
22 lentelė. CO ₂ emisijų scenarijaus AD ir Adyar SWAT modeliuose palyginimas.....	62
23 lentelė. Scenarijų modelio rezultatų pokytis.....	0
24 lentelė. Prognostinių scenarijų modelio rezultatų pokytis.....	1

Paveikslų sąrašas

1 pav. Projekto sukūrimo langas (redaguota autoriaus iš ArcSWAT interface for SWAT2012. User's guide [8]).....	18
2 pav. Žemės naudmenų, dirvožemio ir nuolydžio apibūdinimo langas (ArcSWAT interface for SWAT2012. User's guide [8]).....	19
3 pav. Meteorologinių duomenų apibūdinimo langas (ArcSWAT interface for SWAT2012. User's guide [8]).....	20
4 pav. Lietuvos upės baseinai ir pabaseiniai tiriamoje teritorijoje.....	23
5 pav. Kaukės sluoksnis AD upės baseinui.....	24
6 pav. DEM sluoksnis AD upės baseinui.....	25
7 pav. Žemės naudmenų sluoksnis AD upės baseinui.....	26
8 pav. Dirvožemio teritorinis pasiskirstymas Vakarų Lietuvoje pagal Fere granulimetrinę sudėtį.	28
9 pav. Lietuvos upių tinklo sluoksnis.....	29
10 pav. Kitų vandens telkinių AD upės baseinui.....	30
11 pav. AD upės baseino SWAT modeliavimo schema.....	31
12 pav. AD SWAT projekto failų sistema.....	32
13 pav. AD upės baseino apibūdinimo langas.....	33
14 pav. AD suskirstymas į pabaseinius.....	34
15 pav. Reklasifikuotas AD žemės naudmenų sluoksnis.....	36
16 pav. Reklasifikuotas AD dirvožemio sluoksnis.....	37
17 pav. Nuolydis (%).....	38
18 pav. AD HRU kombinacijos.....	39
19 pav. AD SWAT modelio paleidimo langas.....	41
20 pav. Vidutinis dienis nuotėkis pabaseiniuose.....	42
21 pav. Vidutiniai metiniai N ir P kiekiai paviršiniame nuotėkyje AD upės baseine.....	43
22 pav. Hidrologiniai procesai AD SWAT modelyje.....	44
23 pav. Nuosėdos AD SWAT modelyje.....	46
24 pav. Azoto ciklas AD SWAT modelyje.....	47
25 pav. Fosforo ciklas AD SWAT modelyje.....	49
26 pav. Augalų augimas AD SWAT modelyje.....	51
27 pav. Maistinių medžiagų išplovos AD SWAT modelyje.....	53
28 pav. Vidiniai upės vagos procesai AD SWAT modelyje.....	54
29 pav. Kiti vandens telkiniai AD SWAT modelyje.....	55
30 pav. AD SWAT TMPMX parametro redagavimo langas.....	56
31 pav. Klimato kaitos scenarijų modelio rezultatų pokytis.....	57
32 pav. Prognostinių klimato kaitos scenarijų modelio rezultatų pokytis 2044-2054 m.....	59
33 pav. Prognostinių scenarijų modelio išvesties rezultatų pokytis 2094-2104 m.....	59
34 pav. CO ₂ emisijų scenarijaus AD ir Adyar SWAT modeliuose palyginimas.....	63
35 pav. Arcswat įrankių juosta (ArcSWAT interface for SWAT2012. User's guide [8]).....	70

Turinys

IVADAS.....	10
1. LITERATŪROS ANALIZĖ.....	11
1.1. SWAT sistemos modelių struktūros, funkcijų ir taikymo galimybių analizė.....	11
1.1.1. SWAT ypatumai mažų baseinų modeliavimui.....	12
1.2. Esamų modelių, apimančių Akmenos-Danės upės baseiną, analizė.....	12
1.3. SWAT modeliavimo sistemos GIS plėtinių lyginamoji analizė.....	14
1.4. Hidrologinio SWAT modelio kūrimo etapai naudojant ArcSwat.....	15
1.4.1. Naudojami duomenų rinkinių sluoksniai SWAT modeliavimui.....	16
1.4.2. Upės baseino apibūdinimas.....	17
1.4.3. HRU analizė.....	19
1.4.4. Meteorologiniai duomenys.....	20
1.4.5. SWAT modelio vykdymas.....	21
2. METODAI – DUOMENYS.....	22
2.1. Modeliuojamo objekto - Akmenos-Danės upės baseino aprašas.....	22
2.2. Tiriamosios vietos ir stebėjimo duomenų aprašymas.....	24
2.2.1. Paruošiamieji sluoksniai AD SWAT Modelio sukūrimui.....	24
2.3. AD SWAT modelio kūrimo etapai.....	31
2.3.1. AD upės baseino apibūdinimas.....	32
2.3.2. HRU kūrimas.....	34
2.3.3. Meteorologiniai duomenys AD upės baseinui.....	40
2.3.4. SWAT paleidimas.....	40
3. REZULTATAI, Aptarimas.....	42
3.1. AD SWAT modelio rezultatai.....	42
3.1.1. Hidrologinė informacija.....	44
3.1.2. Nuosėdos.....	45
3.1.3. Azoto ciklas.....	46
3.1.4. Fosforo ciklas.....	48
3.1.5. Augalų augimas.....	51
3.1.6. Maistinės medžiagos.....	52
3.1.7. Vidiniai upės vagos procesai.....	53
3.1.8. Kiti vandens telkiniai.....	54
3.2. Klimato kaitos scenarijų modelis.....	55
3.3. Prognostinių klimato kaitos scenarijų modelis.....	58
3.4. Diskusija.....	60
3.5. Rekomendacijos ir pasiūlymai kaip gerinti mažų upės baseinų modeliavimo procesą ir modelių kokybę.....	63
IŠVADOS.....	65
LITERATŪRA.....	66
PRIEDAI.....	70

IVADAS

Viena pagrindinių aplinkosaugos problemų pasaulyje – palaipsniui didėjantis teršalų poveikis vandens telkiniams, klimato kaita, potvynių rizika. Sprendžiant tokias problemas SWAT modeliavimo pagalba gaunami rezultatai, galintys prognozuoti kelių dešimtmečių laikotarpiui.

SWAT modeliavimo sistema dažnai taikoma didelių baseinų ir teritorijų hidrologiniam modeliavimui, tačiau žymiai rečiau - mažesniems upės baseinams, tame tarpe ir Lietuvoje. Šio tyrimo metu kuriamas mažo Akmenos–Danės upės baseino modelis, tiriamas jo jautrumas skirtingiems baseino skaitmenizavimo būdams, kiekybiškai vertinamas įvairių medžiagų išplovimas Akmenos-Danės upės baseine, vertinama klimato kaitos scenarijų ir prognostinių klimato kaitos scenarijų įtaka išvesties rezultatams.

Tyrimo tikslas:

Sukurti SWAT hidrologinį modelį ir atlikti parametų vertinimą mažame Akmenos–Danės upės baseine.

Tyrimo objektas:

Mažo AD upės baseino SWAT modelio kūrimas naudojant Akmenos–Danės upės baseino duomenis ir SWAT modelio parametų validavimo programines priemones.

Uždaviniai:

1. Atlikti Akmenos-Danės upės baseino erdvinį skaitmenizavimą ir sudaryti kuriamo modelio hidrologinius atsako vienetus (HRU).
2. Įvertinti AD SWAT modelio rezultatus panaudojant SWAT Error checker vizualizavimo programą.
3. Sudaryti klimato kaitos scenarijus ir įvertinti jų poveikį skirtingiems hidrologiniams upės baseino komponentams.
4. Sudaryti AD upės baseino prognostinius scenarijus.

Darbo hipotezė:

Hipotezė: Taikant SWAT modelio konfigūravimo ir parametų vertinimo metodus galima gauti patikimą SWAT modelį mažiems upės baseinams.

Aktualumas:

Kuriamas modelis reikalingas tam, kad būtų galima išspręsti su mažo upės baseino problemų valdymu susijusius klausimus: įvairūs taršos aspektai, vandens kokybė, medžiagų išplovų kiekiai iš dirvožemio, prognostinių vandentvarkos scenarijų skaičiavimas, įvertinant tam tikrų priemonių taikymą.

1. LITERATŪROS ANALIZĖ

1.1. SWAT sistemos modelių struktūros, funkcijų ir taikymo galimybių analizė

SWAT – upės baseino ar jos dalių hidrologinis modelis, vykdomas prognozuojant poveikį žemės valdymo praktikoje, kuris susijęs su vandens, nuosėdų ir žemės ūkio cheminių junginių išėiga dideliuose, kompleksiniuose vandens telkiniuose su skirtingais dirvožemiais, žemės naudojimo ir valdymo sąlygomis ilgą laiką. Tai yra fiziškai pagrįstas ir efektyviai apskaičiuojamas, naudoja perskaitomai įėjimo parametrus ir leidžia vartotojams ištirti ilgalaikį poveikį [8].

SWAT modelis gali būti naudojamas įvairiems vandens ir vandens kokybės modeliavimo tyrimams paremti. SWAT modeliavimo pavyzdžiai įvairiuose regionuose:

- Nacionaliniu ir regioniniu lygmeniu vandens išteklių įvertinimas, atsižvelgiant į dabartines ir prognozuojamas valdymo sąlygas.
- Bosque upė Teksase (JAV). Projekte buvo nustatytos nuosėdos, azoto ir fosforo išleidimai į Waco ežerą iš įvairių šaltinių, įskaitant pieno atliekų panaudojimo vietas, atliekų apdorojimo įrenginius, miestų teritorijas, tradicinius pasėlius ir ganyklas. Skaitinės žemėtvarkos praktikos reikšmės buvo modeliuotos ir analizuotos [9].
- Poteau upė Oklahomoje (JAV). Šiame projekte vertintos nuosėdų, azoto ir fosforo išleidimai į Wister ežerą ir ištirpęs deguonis, temperatūra ir dumbliai upėje. Buvo analizuojami naminių paukščių atliekų valdymo scenarijai [10].
- DDT pesticidas Yakima upės baseine, Vašingtone (JAV). SWAT buvo naudojamas, kad imituotų DDT užterštumą praeityje ir ateityje [11].
- EPA agentūros pesticidų registracijos biure (JAV) vertinamas SWAT naudojimas kraštovaizdžio/baseino lygmenyje registruojant pesticidus.
- SWAT plačiai naudojamas Jungtinėse valstijose ir Europoje siekiant įvertinti klimato kaitos poveikį vandens tiekimui ir kokybei.
- Lietuvos AAA prie Aplinkos ministerijos (2012-2015) naudojamas Lietuvos vandens kokybės modeliavimo sistemos atnaujinimas ir jo pratęsimas Baltarusijoje [1].

SWAT gali būti naudojamas modeliuojant vieną baseiną arba daugelio hidrologiškai prijungtų upės baseino dalių sistemą. Kiekvienas baseinas pirmausia suskirstomas į pabaseinius ir tada į hidrologinius atsako vienetus (HRU), kurie pagrįsti žemės naudojimu ir dirvožemio pasiskirstymu [8].

1.1.1. SWAT ypatumai mažų baseinų modeliavimui

Kuriamas mažo baseino hidrologinis modelis padeda spręsti nedidelėse teritorijose konkrečiose vietovėse iškilusius vandentvarkos ir aplinkosaugos klausimus, atsižvelgiant į tokių lokalių priemonių taikymą, kaip pvz.:

- Kontroliuojamos užtvankos. Jos naudojamos tam, kad sumažintų upės tėkmės greitį ir kranto eroziją. Tokios užtvankos gali būti konstruojamos naudojant žvyrą, šiaudų ryšulius, smėlio maišus, pluošto ritinius [16].
- Nukreipimo pylimas. Naudojamas apsaugoti žmones ir nuosavybę nuo potvynių ir kontroliuoti vandens lygį, susiejant augalininkystės produkciją, žuvininkystės ir laukinės gamtos valdymą, šlapynių (pelkių) priežiūrą, gerinimą, atstatymą, ar statybą. Nukreipimo pylimai taip pat gali būti taikomi norint suvaldyti lietaus vandens srautą ir greitį [19].
- Filtro juostos. Natūralios augmenijos sritys, kurios yra tarp paviršinių vandens telkinių ir pasėlių, ganyklų, miško ar pažeistos žemės, siekiant išfiltruoti nuosėdas, maistines, chemines medžiagas iš vandens nuotėkio [17].
- Stabilizavimo statinys. Skirtas apsaugoti vandens telkinį nuo erozijos, nuosėdų susidarymo [18].
- Kitos priemonės kaip nuosėdų baseinas, dumblo tvora, akmeniniai nuosėdų išleidimo spąstai, terasos, trikampis nuosėdų pylimas, šlapynių kūrimas ir kt. [6].

1.2. Esamų modelių, apimančių Akmenos-Danės upės baseiną, analizė

SWAT sistema Lietuvos aplinkos apsaugos agentūros užsakymu buvo taikoma pagrindiniams Lietuvos upių baseinams – Nemuno, Lielpės, Ventos, Dauguvos. Rečiau SWAT modeliai taikomi mažesniems baseinams. Dėl SWAT modeliavimo sistemos erdvės suskirstymo Lietuvoje buvo nustatyta vandens telkinių rezoliucija (apibrėžta geoduomenų bazėse RiverWBlatest.gdb ir LakeWBlatest.gdb), tinkama tolesniam modelio taikymui upės baseino valdymo planui sudaryti [1]. Tikslus modelis sukuriamas upės baseinui, kuriame yra įrengta vandens matavimo stotis su kaupiamais duomenimis.

Pagrindinis SWAT sistemos panaudojimas Lietuvoje - vandens kokybės tyrimams. 2010-2013 m. laikotarpiu Nemuno UBR prioritetinių ir prioritetinių pavojingų medžiagų valstybinis monitoringas buvo vykdomas 16-oje vietų, 8-iose upėse - Nemune, Neryje, Skirvytėje, Akmenoje-Danėje, Šyštoje, Minijoje, Nevėžyje, Šešupėje ir Kauno mariose. 2011 m. iš prioritetinių ir prioritetinių pavojingų medžiagų sąrašo (*dir. 2008/105/EB*) buvo tirta 31 medžiaga (ir jų grupės) upėse [3].

Žemės ūkio taršos poveikis išliko mažai pakitęs remiantis 2010-2012 m. vandens kokybės monitoringo duomenimis ir SWAT matematinio modelio rezultatais (žr. 1 lentelę). Geros ekologinės būklės/potencialo reikalavimų dėl žemės ūkio taršos poveikio neatitinka ir rizikos grupei priskiriama 19,5 proc. visų Nemuno UBR upių kategorijos vandens telkinių, kurių bendras ilgis sudaro 20,6 proc. visų išskirtų telkinių ilgio. Sudarant pirmuosius Nemuno UBR valdymo planus rizikos grupei dėl reikšmingo pasklidusios žemės ūkio taršos poveikio buvo priskirta 19 proc. visų UBR upių kategorijos vandens telkinių, kurių bendras ilgis sudarė 21 proc. visų telkinių ilgio. Sutelktosios taršos poveikis Akmenos – Danės baseine nebuvo nustatytas, tačiau būklė išlieka bloga, vandens telkinys išlieka rizikos telkinių sąraše. Pagrindiniai taršos šaltiniai: Kretingos NV ir Klaipėdos miesto paviršinių nuotekų išleistuvai [3].

1 lentelė. Žemės ūkio taršos apkrovos Nemuno UBR pabaseiniuose

Baseinas/pabaseinis	Apskaičiuotos sudarant pirmąjį UBR valdymo planą		Apskaičiuotos 2012 m. duomenų pagrindu	
	BN, kg/ha	BP, kg/ha	BN, kg/ha	BP, kg/ha
Žeimeną	13,0	2,2	12,5	2,8
Šventoji	26,5	4,5	24,4	6,1
Neries ir mažųjų intakų	15,7	2,7	18,8	4,4
Nevēžis	46,5	9,3	43,3	13,8
Merkys	15,6	2,8	14,8	3,9
Nemuno ir mažųjų intakų	28,3	5,0	31,4	7,9
Dubysa	39,1	7,2	43,1	11,5
Šešupė	47,2	9,2	50,0	14,6
Jūra	39,7	7,0	48,0	11,5
Minija	33,1	5,6	41,1	9,6
Lietuvos pajūrio upių	26,4	4,9	30,3	8,2
Prieglius	33,7	5,5	35,5	7,8

Šaltinis: Nemuno upių baseinų rajono valdymo plano projektas, 2015, p. 75 [3].

Vandens kokybė vertinama pagal geriamojo vandens kokybės standartus, todėl Nemuno upių baseinų rajono valdymo plano projekte teigiama, kad žemių sausinimas Nemuno UBR netrukdo pasiekti nustatytus vandensaugos tikslus, o drenažu išplaunamų N ir P medžiagų poveikis paviršinių vandenų taršai yra nežymus [3].

Akmenos-Danės (AD) upės baseinas priskiriamas prie mažesnių upės baseinų. Šis baseinas anksčiau buvo modeliuotas ir rankiniu būdu kalibruotas panaudojant stebėjimų duomenis iki 2009 m. Kalibravimui ir validavimui buvo pasirinkti Akmenos-Danės upės baseino hidrometeorologinių stebėjimų tinklo vandens kokybės matavimo stoties ties Tūbausiais rezultatai. Pirmos ir trečios dalies kalibravimui buvo panaudota - 1997.01.01-2000.12.13; 2006.01.01 - 2009.31.12, 96 stebėjimai, vidurinė dalis – 2001.01.01- 2005.31.12., 60 stebėjimų) [5].

2 lentelė. Kiekybiniai AD upės baseino kalibravimo ir validavimo rezultatai.

Medžiaga	Kriterijus	Kalibravimas	Validavimas
N-NO ₃	PBIAS	3%	16%
N-NO ₃	R ²	0.89	0.91
NTOT	PBIAS	-3%	11%
NTOT	R ²	0.82	0.90
P-PO ₄	PBIAS	37%	-2%
PTOT	PBIAS	-29%	-23%

Šaltinis: Sennikovs J. ir kt, 2014, p. 90 [5].

Vertinant kiekybinius pagrindinių medžiagų išplovą 2 lentelėje, matome, kad AD mineralinio azoto (NO₃-N) ir bendro azoto (NTOT) išplovos procentinė kalibravimo paklaida (PBIAS) nedidelė, validavime jau 16%, mineralinio fosforo (PO₄-P) ir bendro fosforo procentinė kalibravimo paklaida siekia ~ 30%, validavime PO₄-P – sumažėja iki mažos procentinės paklaidos. Determinacijos koeficientas (R²) tiek kalibravimo, tiek validavimo rezultate arti vieno (0.82-0.91) visų medžiagų atžvilgiu. Jeigu R² kriterijaus rezultatai parodo gana tikslų modelį [20], tai PBIAS rodo skirtingą patikimumą nuo gana patikimaus iki pusiau patikimo modelio [21]. Prognostinių scenarijų ar klimato kaitos scenarijų nebuvo vykdoma, taip pat priemonių, sprendžiant vandentvarkos klausimus šiai teritorijai, nebuvo pasiūlyta.

Viename Nemuno UBR tyrime buvo atliktas Nemuno ir Minijos upės baseino modeliavimas kalibravimas ir validavimas, analizuojamas mėnesinis nuotėkis. Modelio tikslumas įvertintas naudojant determinacijos koeficientą (R²) ir Nešo-Satklifo modelio efektyvumo koeficientą (NSE). Taip pat apskaičiuoti du potencialūs klimato kaitos scenarijai - oro temperatūros ir kritulių [7].

1.3. SWAT modeliavimo sistemos GIS plėtinių lyginamoji analizė

SWAT modeliavimo sistema jungia savyje visą eilę atskirų hidrologinių procesų modelių (bloką), duomenų bazių, GIS, modelių konfigūravimo, kalibravimo ir validacijos programinių priemonių: SWAT2012, SWAT Check, SWAT-MODFLOW, CMhyd, SWAT Weather Database, SLEEP Tool, QSWAT 1.3, ArcSWAT 2012, SWATeditor 2012, SWAT-CUP 5.

Pagrindiniai plėtiniai naudojami SWAT hidrologinio modelio sudarymui yra ArcSWAT ir QSWAT. Jų dokumentaciją galima rasti pagrindiniame laisvai prieinamame SWAT puslapyje internete [2]. Jų bendras palyginimas pateiktas žemiau 3 lentelėje.

3 lentelė. ArcSWAT ir QSWAT plėtinių palyginimas

	ArcSWAT	QSWAT
Integracija	ArcGIS aplinkoje	QGIS aplinkoje
Licenzija	Plėtinys prienamas nemokamai, ArcGIS – mokama programa.	Plėtinys prienamas nemokamai, QGIS – nemokama programa.
Pagrindinių žingsnių skaičius	6	5
Vizualizavimas	SWAT error checker	SWAT error checker, atskira vizualizavimo funkcija.
Duomenų bazės atnaujinimas	Automatinis	Kai kurie duomenys kaip meteorologiniai duomenys atnaujinami įvedimu į projekto direktorijos <i>mdb</i> failą.
Projekto dalinimasis	Galimas, projektas paremtas geoduomenų baze	Galimas, projektas paremtas geoduomenų baze

QSWAT nuo ArcSWAT skiriasi tuo, kad jis integruojasi nemokamos QGIS programos aplinkoje, turi atskirą vizualizavimo funkciją ir kai kurie duomenys atnaujinami projekto direktorijoje [12].

Šiame darbe naudojamas ArcSWAT 2012 plėtinys grafinėje naudotojo ArcGIS programinės įrangos aplinkoje. ArcGIS - komercinis produktas, išleistas 1999 m., skirtas kurti ir naudoti žemėlapius, kaupti geografinius duomenis, analizuoti susietą informaciją, dalytis ir atrasti geografinę informaciją, naudoti žemėlapius ir geografinę informaciją daugelyje programų bei valdyti geografinę informaciją duomenų bazėje. Per eilę metų išvystyta programa suteikia pakankamai lanksčią ir draugišką aplinką vartotojui, ko kartais pasigendama QGIS aplinkoje [13]. Tiesa, pastaroji nors ir nemokama, atlieka panašias funkcijas kaip ir ArcGIS, tačiau funkcionalumas labiau ribotas.

ArcSWAT plėtinio aplinka palaiko žemės naudmenų, dirvožemio, meteorologinių, požeminio vandens, vandens naudojimo, dirvožemio chemijos, administracinių vienetų, tvenkinių ir tekančio vandens kokybės duomenis [8].

1.4. Hidrologinio SWAT modelio kūrimo etapai naudojant ArcSwat

Pagrindinės procedūros kuriant SWAT modelį:

- Užkrauti ar pasirinkti ArcSWAT plėtinį (extension). Papildomai instaliuojamas SWATeditor įrankis, leidžiantis redaguoti SWAT įvesties failus SWAT modelio vykdymui [14].
- Apibūdinti upės baseiną ir apibrėžti HRU.

- (pasirinktinai) Redaguoti SWAT duomenų bazes.
- Apibrėžti meteorologinius duomenis.
- Taikyti numatytąjį įvesties reikšmių (default) failų rašytoją (writer).
- (pasirinktinai) Redaguoti įvesties reikšmių failų rašytoją.
- Nustatyti modeliavimo laikotarpį ir vykdyti SWAT modelį.
- (pasirinktinai) Taikyti kalibravimo įrankį rankiniu būdu.
- (pasirinktinai) Analizuoti, braižyti ir grafiškai atvaizduoti SWAT išvesties rezultatus (output) [8].

1.4.1. Naudojami duomenų rinkinių sluoksniai SWAT modeliavimui

Privalomi sluoksniai (erdviniai duomenų rinkiniai):

- **DEM** (skaitmeninis aukščio modelis). *ESRI GRID* formatas (rastrinis GIS failo formatas, sukurtas ESRI).

ArcGIS aplinka leidžia DEM naudoti sveikuosius (*integer*) arba realiuosius skaičius aukščio reikšmėms. Vienetai, naudojami apibrėžiant GRID rezoliuciją ir aukštį neprivalomai turi būti vienodi. GRID rezoliucija turi būti apibrėžta viename iš šių vienetų: metrais, kilometrais, pėdomis, jardais, myliomis, dešimtainiais laipsniais. Aukštis: metrais, centimetrais, jardais, pėdomis ir coliais [15].

- **Žemės padengimo/žemės naudmenų sluoksnis**. *ESRI GRID*, *Shapefile*, ar *Feature Class* formatas.

Žemės naudmenų žemėlapyje nurodytos kategorijos turi būti perklasifikuotos į SWAT žemės naudmenų/augalų tipus. Vartotojas gali pasirinkti vieną iš trijų perklasifikavimo variantų:

1. Naudoti žemės naudmenų paieškos lentelę. ArcSWAT plėtinyje integruotos USGS LULC ir NLCD 1992 paieškos lentelės. Tai JAV teritorijoje naudojamos žemės naudmenų lentelės.
2. Įvesti 4 raidžių SWAT žemės naudmenų tipo kodą kiekvienai kategorijai.
3. Sukuriant pačiam vartotojui paieškos lentelę, kurioje nurodytas 4 raidžių SWAT kodas skirtingoms žemės naudojimo kategorijoms.

- **Dirvožemis**. *ESRI GRID*, *Shapefile*, ar *Feature Class* formatas.

Dirvožemio žemėlapyje nurodytos kategorijos pirmiausia susietos tik su JAV dirvožemio duomenimis, aplinkoje siūlomi keli pasirinkimo variantai siekiant sumodeliuoti būtent JAV teritorijoje esantį upės baseiną.

Taip pat yra galimybė pritaikyti duomenis dirvožemiui naudojant kitos šalies teritorijos dirvožemį. Šiuo atveju pasirenkamas Name laukelis, kai turi būti naudojami grunto duomenys iš

naudotojo dirvožemio duomenų bazės. Naudotojas gali importuoti SWAT dirvožemio failus (.soil) arba įvesti dirvožemio duomenis į naudotojo dirvožemio duomenų bazę. Kiekvienai žemėlapių kategorijai nurodyta Name yra dirvožemio pavadinimas naudotojų dirvožemių duomenų bazėje.

Perklasifikuojant žemėlapių kategorijas, informacija gali būti įvedama rankiniu būdu per sąsają arba gali būti įkelta paieškos lentelė, kurioje nurodyta ši informacija.

Visiems trims šiems būtiniams sluoksniams turi būti pritaikyta ta pati geografinių koordinačių projekcija.

Pasirinktini/neprivalomi sluoksniai:

- **DEM kaukė (mask).** *ESRI GRID, Shapefile* ar *Feature Class* formatas.

Sąsaja leidžia padengti kaukę ant DEM sluoksnio. Diferencijuojami kaukės tinkeliai į kategoriją lygiam nuliui (no data) ir sritims, priskiriamoms bet kuriai kategorijai > 0 . DEM tinkelio sritys, kurių reikšmė 0, nebus apdorojoma upės srauto išdėstymui.

- **Upių (streams) sluoksnis.** *ESRI GRID, Shapefile* ar *Feature Class* formatas.

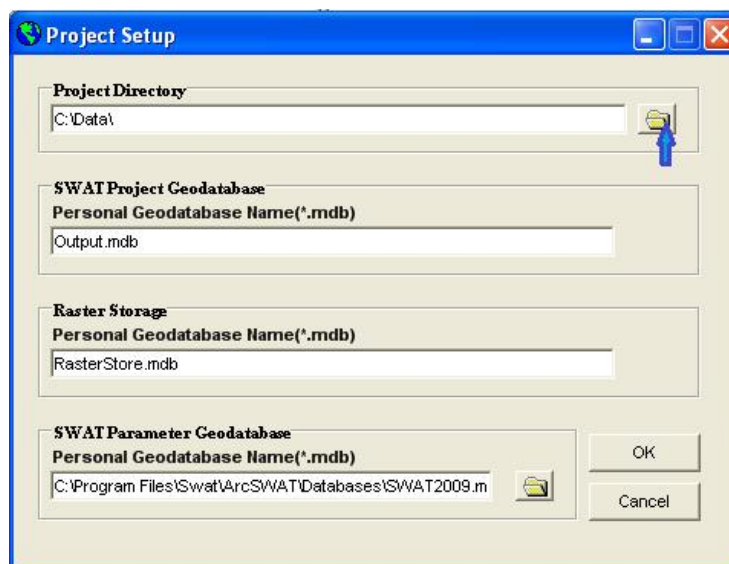
Upių sluoksnio duomenų rinkinys yra reikalingas tose srityse, kuriose reljefo aukščio reikšmės yra mažos ir DEM tinkelis negali tiksliai apibrėžti visų realių upių ir intakų vietų.

- **Vartotojo – apibrėžti baseinai.** *Shapefile* ar *Feature Class* formatas.

Vienas iš baseino ribų nustatymo parinkčių yra įvesti vartotojo apibrėžtus baseinus. Baseinas ir jame esančios upės turi būti geometriniu požiūriu nuoseklūs, kiekvienoje pogrupio dalyje turi būti 1 upės funkcija. Išėjimai (outlets) į pabaseinius apibrėžiami kaip mažas atstumas prieš upę nuo upės pabaigos taško, o tai reikalauja, kad upės galutinis taškas atitiktų baseino ribas [8].

1.4.2. Upės baseino apibūdinimas

Pirmas žingsnis kuriant SWAT modelį prasideda nuo SWAT projekto sukūrimo, patartina saugoti projekto failus tame pačiame SWAT aplanke (dažniausiai vietiniame C: diske, žr 11 pav.), kuris atsiranda po ArcSWAT intaliacijos tam, kad išvengti nenumatytų klaidų kuriant modelį, taip sistema lengviau randa kelią prie reikalingų failų vykstant apdorojimo procesams.



1 pav. Projekto sukūrimo langas (redaguota autoriaus iš ArcSWAT interface for SWAT2012.

User's guide [8])

Sukūrus naują projektą suaktyvinama baseino ribų (watershed delineation) apibūdinimo funkcija (žr. 12 pav.). Šis įrankis leidžia vartotojui apibūdinti pabaseinius, naudojant DEM duomenis. Naudotojo nurodyti parametrai suteikia apribojimus, kurie turi įtakos sukurtam pabaseinių plotų dydžiui ir skaičiui. Be to, vartotojai gali importuoti iš anksto apibrėžtą baseino upių tinklą. Vykdomos pažangios GIS funkcijos, kad padėtų vartotojui suskaidyti upės baseiną į keletą hidrologiškai prijungtų pabaseinių (sub-watersheds).

Kai baseino ribos apibūdintos, vykdomas SWAT projektas, papildomas išsamia topografinė ataskaita (Topographic Report) ir į dabartinį žemėlapi įtraukiami keli duomenų rinkinių sluoksniai:

- baseino riba;
- upės baseinas (su pabaseiniais);
- upės (reach);
- išėjimai ir monitoringo taškai.

Topografinėje ataskaitoje aprašomas aukščio pasiskirstymas baseine ir kiekviename pabaseinyje. Pridėti sluoksniai į ArcMap žemėlapi jau yra su baseino ribų charakteristikų parametrais [8].

Pagrindinės vykdomos procedūros apibūdinant upės baseino ribas.

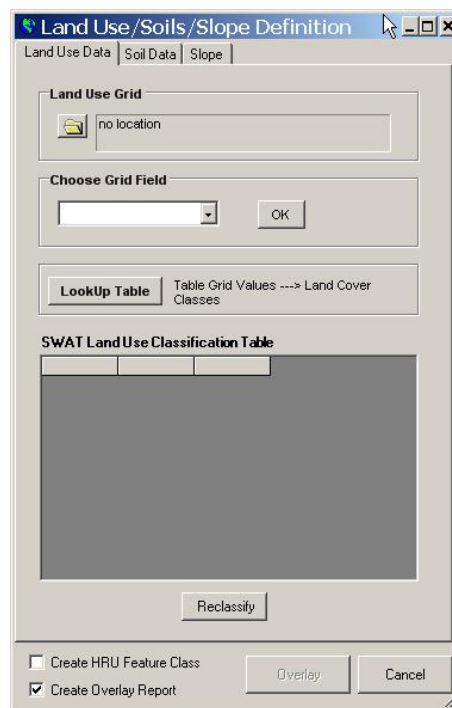
- DEM įkėlimas.
- (pasirinktinai) Apibrėžiama teritorija ties kuria dirbama.
- (pasirinktinai) Upių tinklo įkėlimas.
- Išankstinis DEM apdorojimas (preprocess).
- Nurodomas mažiausias pabaseinio plotas.

- Peržiūrėti ir redaguojami upės tinklo taškai.
- Vykdomas pabaseinio parametrų skaičiavimas.
- (pasirinktinai) Kitų vandens telkinių įtraukimas (tvenkiniai, ežerai).

1.4.3. HRU analizė

Kai baseino ribos apibūdintos, kuriami HRU (hidrologinio atsako vienetai). Į projektą įkeliami žemės naudmenų (landuse) ir dirvožemio (soil) sluoksniai, įvertinamos nuolydžio charakteristikos ir nustatomos žemės naudmenų/dirvožemio/nuolydžio klasių deriniai ir pasiskirstymai pagal apibrėžtą baseiną ir kiekvieną atitinkamą pabaseinį. Duomenų rinkiniai gali būti *ESRI grid*, *shapefile* ar *geodatabase feature class* formatu.

Žemės naudmenų ir dirvožemio sluoksniai turi būti toje pačioje projekcijoje kaip ir DEM sluoksnis. Taip pat sluoksnių pasidengimo procentas modeliuojamoje teritorijoje turi būti mažiausiai 95%, kitu atveju sistema gali neleisti sukurti HRU. Sukuriami vienas ar keli HRU kiekvienam pabaseiniui.



2 pav. Žemės naudmenų, dirvožemio ir nuolydžio apibūdinimo langas (ArcSWAT interface for SWAT2012. User's guide [8])

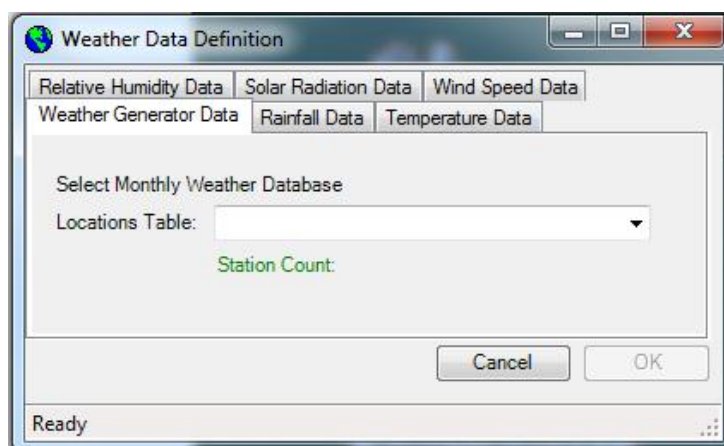
Pagrindinės vykdomos procedūros kuriant HRU.

- Žemės naudmenų duomenų rinkinio nustatymas, reklasifikacija.
- Dirvožemio duomenų rinkinio nustatymas, reklasifikacija.
- Nuolydžio klasifikacija.
- Žemės naudmenų, dirvožemio ir nuolydžio sluoksnių persidengimas (overlay).

Šių operacijų nustatymas vykdomas per vieną ArcSWAT sesiją. Sėkmingai įvykdžius persidengimą ir apibrėžus HRU, sugeneruojama ataskaita *Final HRU Distribution*, kurioje pateikiamas sąrašas HRU kiekvienam pabaseiniui [8].

1.4.4. Meteorologiniai duomenys

Kitas žingsnis modelio kūrimo etape - meteorologinių duomenų įvedimas Write Input Tables sekcijoje. Šis įrankis leidžia vartotojams priskirti meteorologinius duomenis pabaseiniams. Kiekvienam įkeliamam meteorologinių duomenų tipui kiekvienas pabaseinis yra susietas su vienu matuokliu.



3 pav. Meteorologinių duomenų apibūdinimo langas (ArcSWAT interface for SWAT2012. User's guide [8])

Apibrėžiami meteorologinių duomenų tipai:

- a) **Meteorologiniai generatoriaus duomenys.** Apibrėžiami duomenys, naudojamas generavimas. Meteorologinius duomenis galima pasirinkti iš dviejų šaltinių: integruotos JAV duomenų bazės arba naudotojo meteorologinių duomenų bazės.
- b) (pasirinktinai) **Kritulių duomenys.** Naudojami išmatuoti kritulių duomenys pritaikant pasirinktiną laiko žingsnį.
- c) (pasirinktinai) **Temperatūros duomenys.** Naudojami išmatuoti temperatūros duomenys.
- d) (pasirinktinai) **Saulės spinduliuotės duomenys.** Naudojami išmatuoti saulės spinduliuotės duomenys.
- e) (pasirinktinai) **Vėjo greičio duomenys.** Naudojami išmatuoti vėjo greičio duomenys.

- f) (pasirinktinai) **Santykinės oro drėgmės duomenys**. Naudojami išmatuoti santykinės oro drėgmės duomenys.

Kai meteorologinių duomenų bazės nustatymas baigtas, projekto žemėlapyje pridedami stebėjimo taškai į MonitoringPoint sluoksnį. Kito žingsnio Edit SWAT Input sekcijoje yra galimybė redaguoti esamas įvesties reikšmes duomenų bazėse [8].

1.4.5. SWAT modelio vykdymas

Paskutinis žingsnis kuriant SWAT modelį - modelio vykdymo konfigūravimas ir paleidimas (žr. 18 pav.). Apibrėžiamos kelios sekcijos su įvairiais procesų ir parametrų pasirinkimais:

- Modeliavimo periodas**. Nurodoma modeliavimo pradžios ir pabaigos data.
- Kasdieninis kritulių kiekio laiko žingsnis**.
- Kritulių pasiskirstymas**.
- Įrašymo nustatymai**.

Nustačius norimus parametrus, paleidžiamas modelis ir po to galima analizuoti išėigos rezultatus sekančioje Read SWAT Output sekcijoje. Kai modelis leidžiamas, jame vyksta tokie procesai, kurių įvykdymui SWAT taiko tokias matematines formules kaip pvz.: hidrologinio ciklo

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

čia SW_t – galutinis vandens turinys dirvožemyje, mm;

SW_0 – pradinis vandens turinys dirvožemyje, mm;

t – laikas, dienos;

R_{day} – kritulių kiekis dienos i , mm;

Q_{surf} – paviršinio nuotėkio kiekis dienos i , mm;

E_a – sumino garavimo kiekis dienos i , mm;

w_{seep} – vandens, patenkančio į ledų zoną iš dirvožemio profilio, kiekis dienos i , mm;

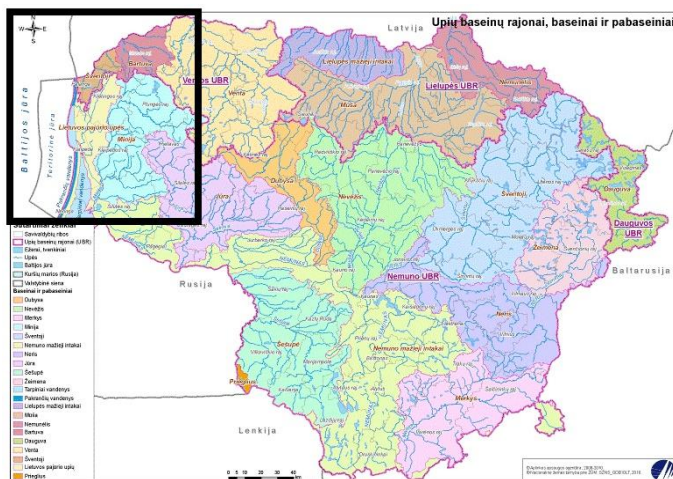
Q_{gw} – požeminio vandens kiekis dienos i , mm.

2. METODAI – DUOMENYS

2.1. Modeliuojamo objekto - Akmenos-Danės upės baseino aprašas

Visas Lietuvos pajūrio upių baseinas yra išplitęs Pajūrio žemumoje. Atsižvelgiant į žmogaus poveikio analizės rezultatus bei vandens objektų tipologiją, Lietuvos pajūrio upių baseine buvo išskirta 14 upių kategorijos vandens telkinių bei 2 ežerų kategorijos vandens telkiniai, baseino miškingumas yra 27%, pelkės užima 2,3% baseino ploto. [3].

Lietuvos pajūrio upių baseine yra viena hidroelektrinė, pradėta statyti Akmenos – Danės upėje 2010 m. Tai nauja Tūbausių hidroelektrinė, esanti Kretingos rajone: atstumas iki žiočių – 41, 2 km, instaliuota galia – 238 kw, tvenkinio plotas – 0.849 km². Be to, Akmenos-Danės upėje dar yra Padvarių užtvanka, formuojanti tvenkinį, kurio paviršiaus plotas didesnis nei 0,5 km². Jo patvankos aukštis 10,5 m, o paviršiaus plotas 0,82 km² [3].



4 pav. Lietuvos upės baseinai ir pabaseiniai tiriamojoje teritorijoje.

Šaltinis: Prieiga per internetą:

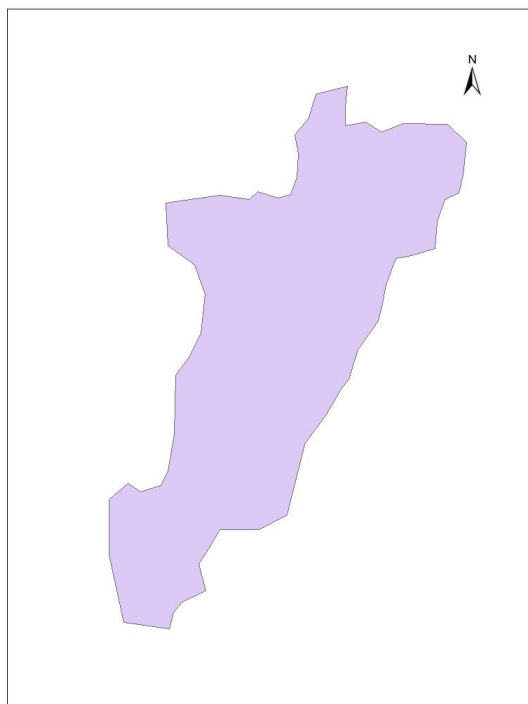
<<http://www.upese.lt/index.php/upes-pagal-baseinus/pajrio-baseinas/>>, <<https://www.e-tar.lt/rs/legalact/TAR.877DC6797FE7/>>

Didžiausia upė baseine yra Akmena-Danė. Ištakos prasideda pelkėtame miške prie Mažųjų Žalinių, 6 km į pietvakarius nuo Salantų. Teka į pietus pro Kretingą ir per Klaipėdos sąsiaurį įteka į Kuršių marias [23]. Nuo versmių iki Kretingos ji vadinama Akmena, o žemiau – Danė. Vidutinis metinis nuotėkio hidromodulis yra 13,1 l/s iš km², upės vidutinis debitas žiotyse – apie 7,6 m³/s. Bendras Akmenos-Danės upės baseino plotas yra 578,91 km², kuris sudaro 52,63% Lietuvos pajūrio upių baseino ploto ir 1,2% Nemuno Upių baseino ploto [22]. Dažni potvyniai baseine. Baseino upių tinklą sudaro 161 ilgesnė nei 3 km bei 650 trumpesnių nei 3 km upių, kurių bendras ilgis 2774 km. Upių tinklo tankis – 1,6 km/km².

2.2. Tiriamosios vietos ir stebėjimo duomenų aprašymas

2.2.1. Paruošiamieji sluoksniai AD SWAT Modelio sukūrimui

1. **Kaukė (mask).** ArcMap sukurtas *.shp* tipo failo sluoksnis, kuris palengvina reikalingų sluoksnių apdirbimą iki norimo, šiuo atveju - Akmenos-Danės upės baseino teritorijos dydžio. Tokiu atveju programa apkraunama tik tais duomenimis, kurie yra apibrėžtoje teritorijoje [24]. Atributų lentelėje tik viena polygon reikšmė.

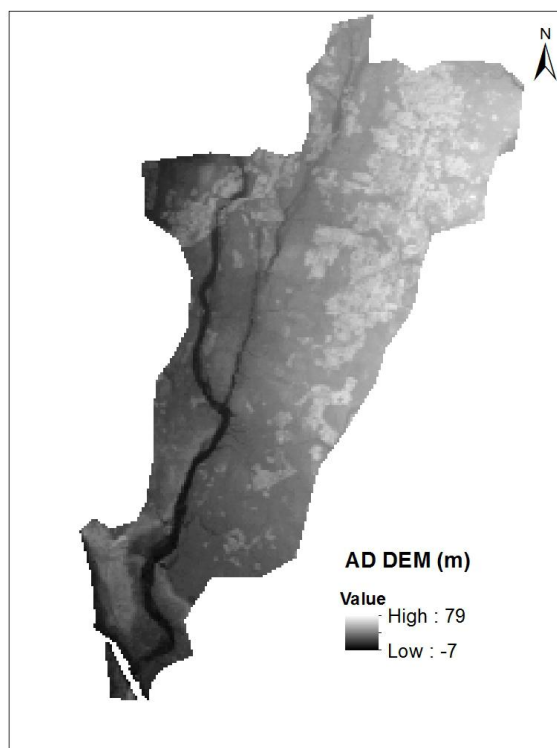


5 pav. Kaukės sluoksnis AD upės baseinui

4 lentelė. Kaukės sluoksnio savybių informacija

Savybė	Reikšmė
Duomenų, geometrijos tipas	Shapefile, poligonas
Suprojektuota koordinačių sistema	WGS_1984_UTM_ZONE_34N
Sulpelių, eilučių skaičius	11, 15
Ląstelės dydis (X, Y)	10000, 10000
Formatas	GRID
Statistinis reikšmių vidurkis	3.46
Standartinis nuokrypis	2.63

2. **DEM** sluoksnis. Laisvai prieinami waterbase internetinėje svetainėje [25]. Tai didelius kiekius apimantys pasaulinio tinklo duomenys. Optimizuojant DEM iki reikiamo ploto dydžio panaudotas Nemuno upės baseino DEM sluoksnis. Žemiau žemėlapyje (6 pav.) matome reikšmių amplitudę nuo -7 iki 79 metrų virš jūros lygio.



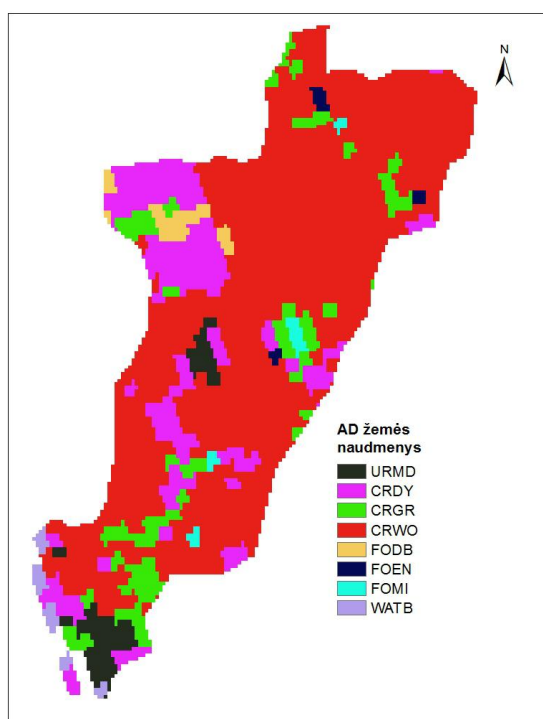
6 pav. DEM sluoksnis AD upės baseinui

Teritorija arti Baltijos jūros, todėl mažiausios aukščio reikšmės paplitusios vakarų ir pietų teritorijos dalyse ir palei AD upės vagos liniją, kur aukščio reikšmės dėl nuolydžio [26] dažniausiai būna mažesnės už sausumos paviršių.

5 lentelė. DEM sluoksnio savybių informacija

Savybė	Reikšmė
Duomenų tipas	Rastrinis
Suprojektuota koordinatų sistema	WGS_1984_UTM_ZONE_34N
Sulpelių, eilučių skaičius	196, 296
Ląstelės dydis (X, Y)	153, 153
Formatas	GRID
Statistinis reikšmių vidurkis	34.38
Standartinis nuokrypis	16.77

3. **Žemės naudmenys** (landuse). Kaip ir su DEM sluoksniu, panaudojant kaukę ir ArcMap įrankį *extract by mask*, iš didelio kiekio rastrinių landuse europos kontinento duomenų, gautų iš *waterbase* internetinės svetainės [25] sutraukiama iki tiriamos teritorijos dydžio su žemės naudmenų atributiniu pasiskirstymu (žr. 7 pav.).



7 pav. Žemės naudmenų sluoksnis AD upės baseinui

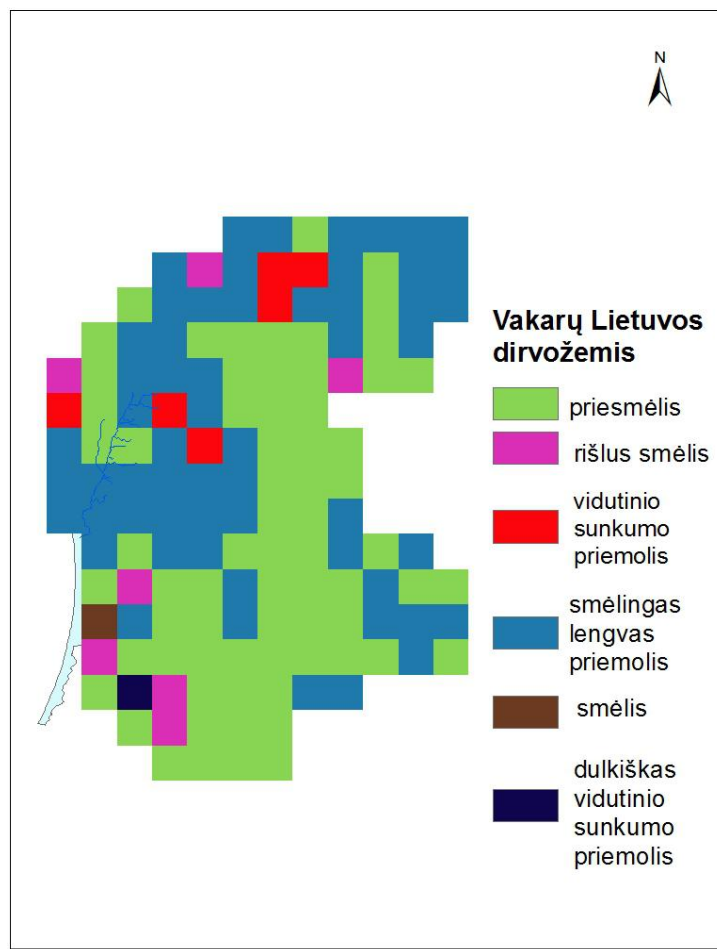
6 lentelė. Žemės naudmenų klasės tipo apibūdinimas

Klasės tipo kodas pagal UMD Land Cover klasifikaciją	Klasės tipo apibūdinimas
CRWO	Pasėliai (ariama žemė) + miškingos vietovės
CRDY	Sausi pasėliai (ariama žemė) ir ganyklos
CRGR	Pasėliai (ariama žemė) + pievos
URMD	Vidutinio tankumo gyvenamosios vietos
FODB	Plačialapiai miškai
FOMI	Mišrieji miškai
FOEN	Spygliuočių miškai
WATB	Vandens telkiniai

7 lentelė. Žemės naudmenų sluoksnio savybių informacija

Savybė	Reikšmė
Duomenų tipas	Rastrinis
Suprojektuota koordinačių sistema	WGS_1984_UTM_ZONE_34N
Sulpelių, eilučių skaičius	130, 196
Ląstelės dydis (X, Y)	231, 231
Formatas	GRID
Statistinis reikšmių vidurkis	5.47
Standartinis nuokrypis	2.35

4. **Dirvožemis** (soil). Duomenys gauti iš lietuviško geoduomenų portalo geoportal.lt. Prie daugumą duomenų galima prieiti nemokamai patvirtinus asmens tapatybę ir pasirašius naudojimosi sutartį [27]. Tai Lietuvos Respublikos teritorijos M1:10 000 dirvožemio duomenų bazė *Dirv_DRIOLT*, portalas suteikia galimybę apsibrėžti norimos teritorijos ribą, šiuo atveju į šią ribą automatiškai įtraukiami dauguma Vakarų Lietuvos rajonų. Dirvožemio pasiskirstymas teritorijoje (žr. 8 pav.). Kadangi tai taškinio tipo duomenys, o SWAT modelio vykdymui reikalingi rastriniai duomenys, ArcMap įrankio pagalba point to raster ir nustčius tinklo gardelės pikselio dydį į 9000, gaunamas tinkamo procento teritorijos padengimas SWAT modelio inicijavimui.

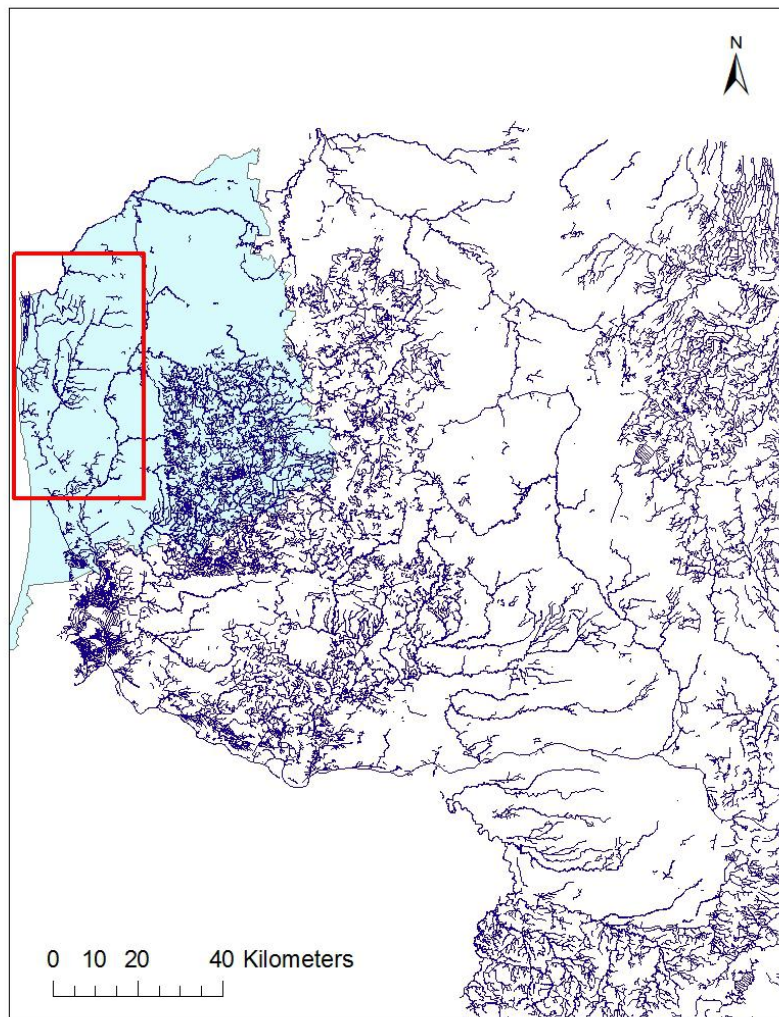


8 pav. Dirvožemio teritorinis pasiskirstymas Vakarų Lietuvoje pagal Fere granulimetrinę sudėtį
Šaltinis: Lietuvos respublikos erdvinio duomenų rinkinio Dirv_DR10LT sluoksniai, p.3 [28].

8 lentelė. Vakarų Lietuvos Dirvožemio savybių informacija

Savybė	Reikšmė
Duomenų tipas	Rastrinis
Suprojektuota koordinacių sistema	WGS_1984_UTM_ZONE_34N
Sulpelių, eilučių skaičius	11, 15
Ląstelės dydis (X, Y)	10000, 10000
Formatas	GRID
Statistinis reikšmių vidurkis	3.46
Standartinis nuokrypis	2.63

5. **Lietuvos upių tinklo sluoksnis.** Laisvai prienamas shapes.openmap.lt internetinėje svetainėje. Šiame sluoksnyje visos pagrindinės Lietuvos upės, upeliai, griovių centro linijos, kanalai [29]. Naudojamas pirmame SWAT modelio kūrimo etape stream in skiltyje.

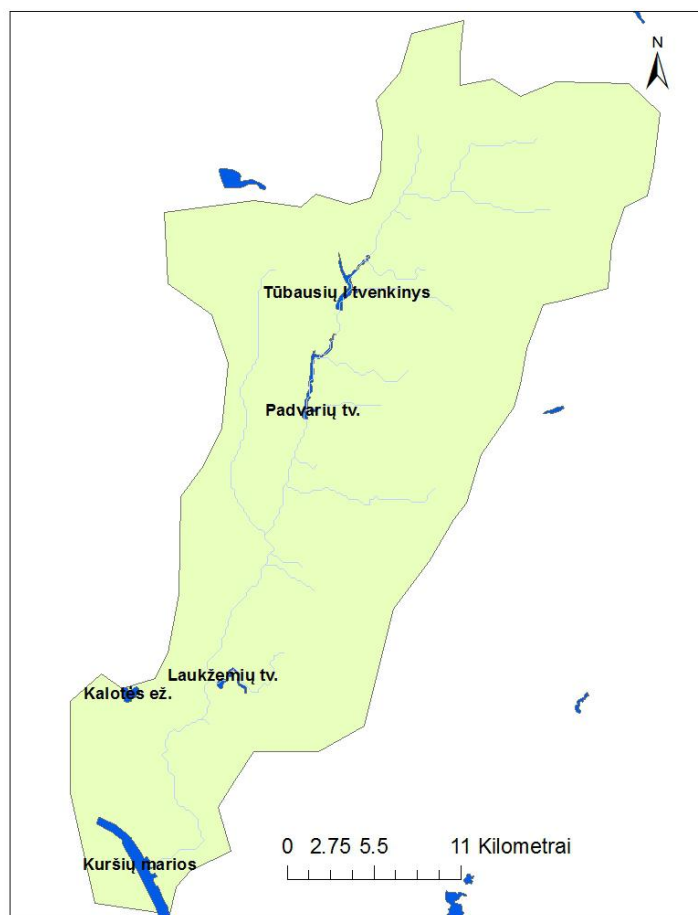


9 pav. Lietuvos upių tinklo sluoksnis

9 lentelė. Lietuvos upių tinklo sluoksnio savybių informacija

Savybė	Reikšmė
Duomenų tipas	Shapefile, linija
Suprojektuota koordinatų sistema	WGS_1984_UTM_ZONE_34N

6. **Kiti vandens telkiniai** (reservoirs). Lietuvos Respublikos teritorijos M 1:250 000 georeferencinių erdvinių duomenų rinkinys pagal tarptautinio projekto EuroRegionalMap reikalavimus – ERM_250LT [27].



10 pav. Kitų vandens telkinių sluoksnis

Šaltinis: ERM_250LT-1092 2017-09-02 15_40 direktorija: /product.gdb/ LakeresA_UTM34 [27].

10 lentelė. Kitų vandens telkinių savybių informacija

Savybė	Reikšmė
Duomenų tipas	Geoduomenų bazė, poligonas
Suprojektuota koordinacių sistema	WGS_1984_UTM_ZONE_34N

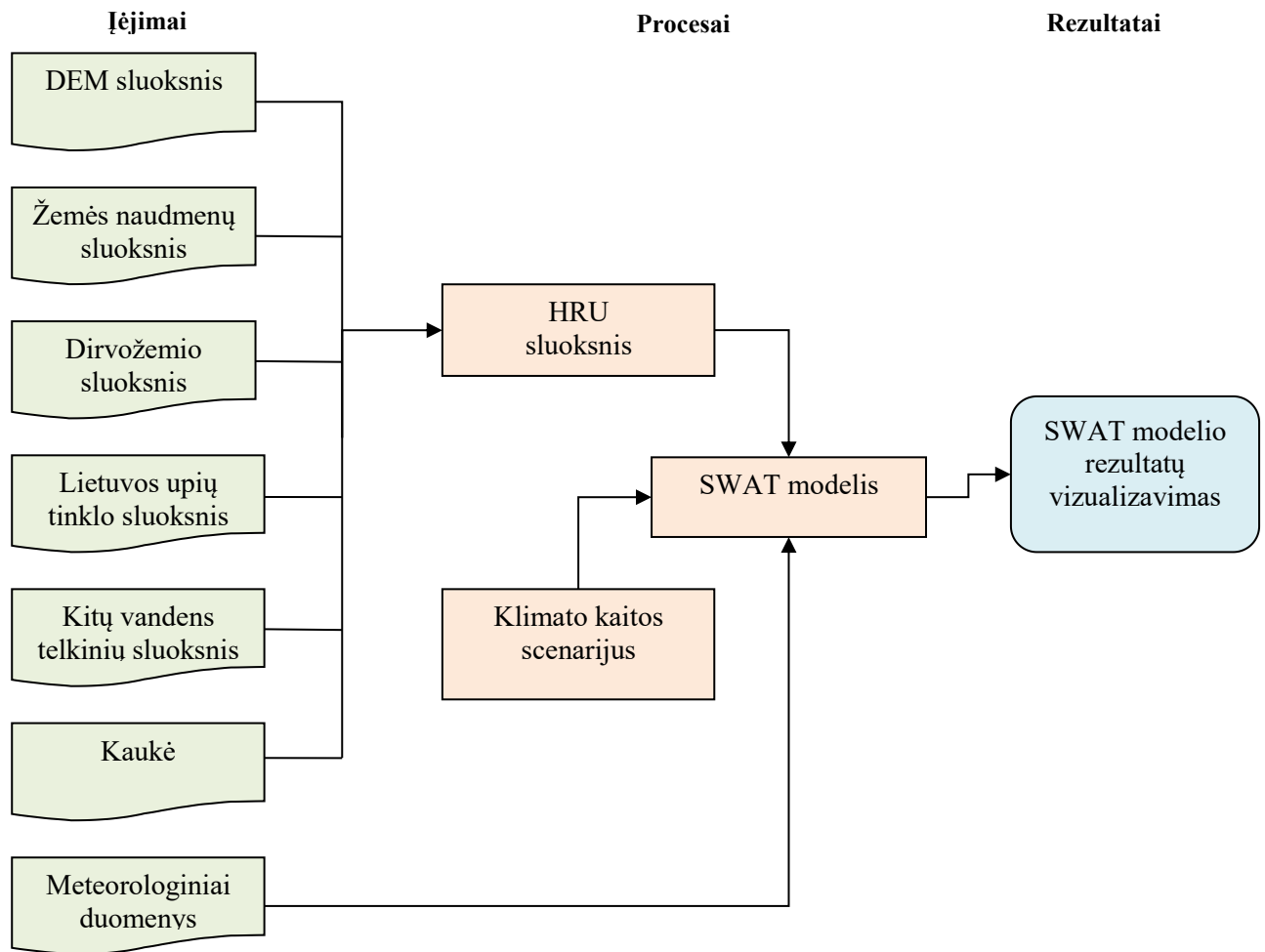
Įtraukti kiti vandens telkiniai (reservoirs) į modelį:

1. Laukžemių tv.
2. Padvarių tv.
3. Tūbausių I tv.
4. Kalotės ež.

2.3. AD SWAT modelio kūrimo etapai

Tiriamajame darbe naudojama ArcSWAT 2012.10_4.19 versija, kuri integruota kaip plėtinys ESRI ArcGIS žemėlapių kūrimo ir redagavimo programos aplinkoje; programos versija 10.4.1. licenzijuota Klaipėdos Universiteto.

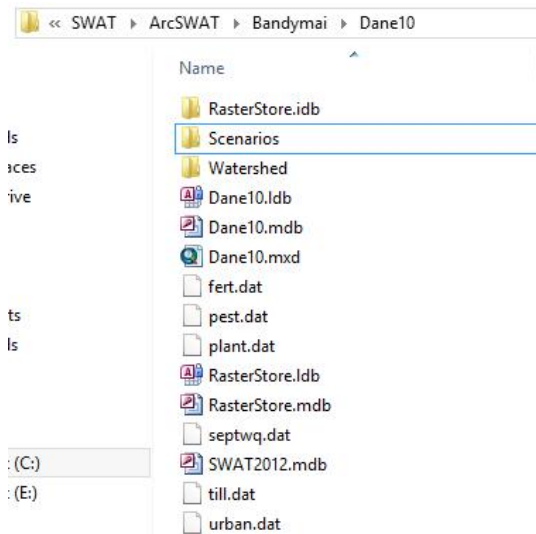
SWAT modelis kuriamas remiantis žemiau (11 pav.) esančia AD upės baseino SWAT modeliavimo schema.



11 pav. AD upės baseino SWAT modeliavimo schema

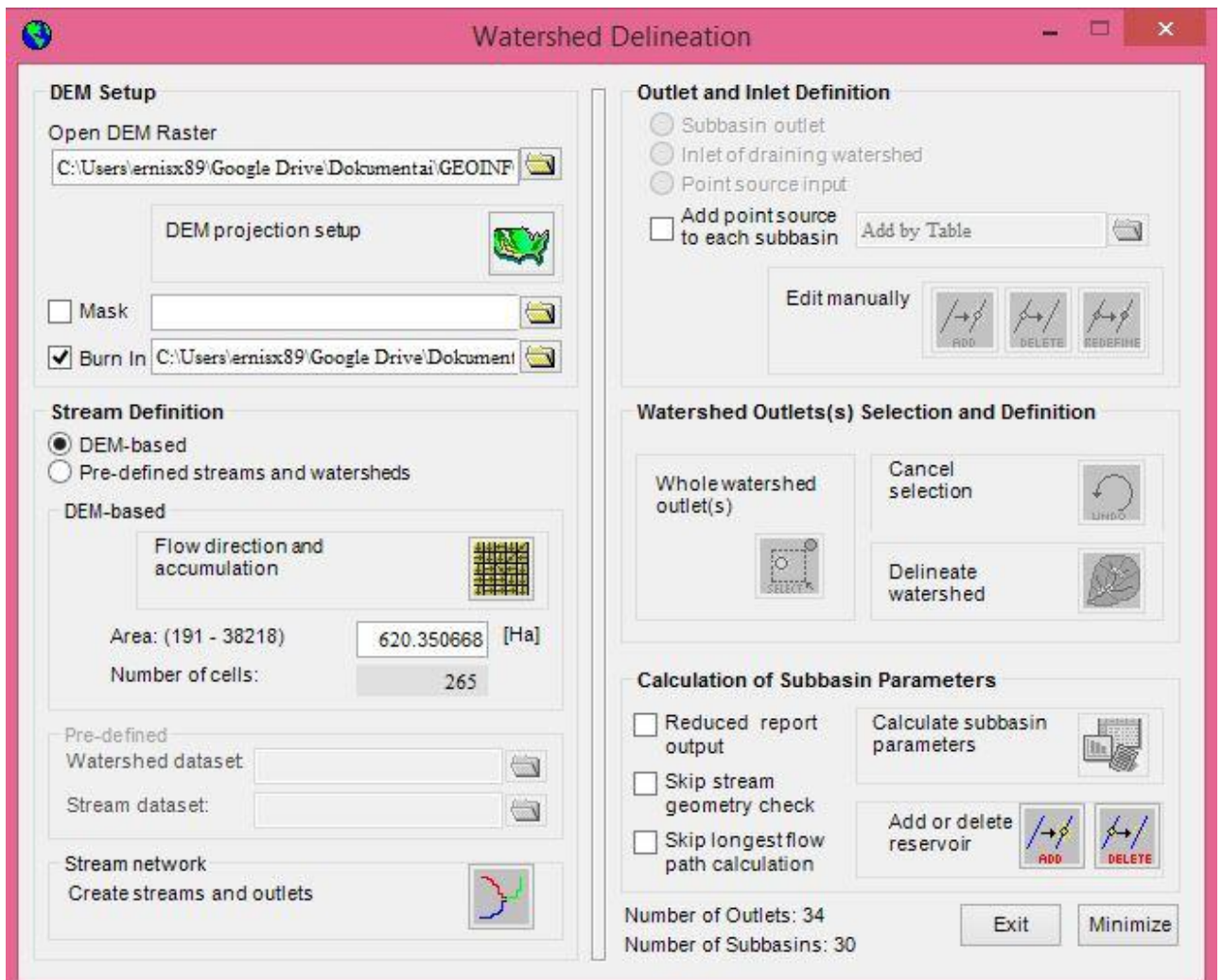
2.3.1. AD upės baseino apibūdinimas

Pirmame Akmenos-Danės upės SWAT modelio kūrimo etape sukuriamas SWAT projektas pavadinimu Dane10, jo vieta nurodyta, kaip ir rekomenduojama vartotojo instrukcijoje C diske: *C:\SWAT\ArcSWAT\Bandymai\Dane10* (žr. 12 pav.).



12 pav. AD SWAT projekto failų sistema

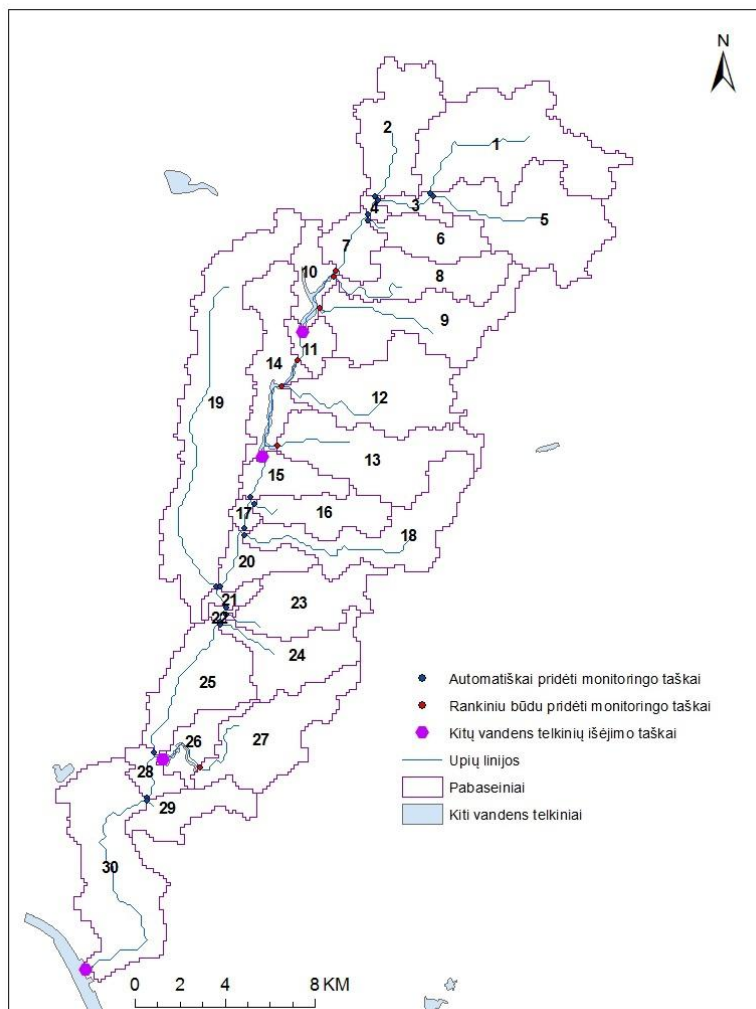
Sekančioje watershed delineation sekcijoje (žr. 13 pav.) įtraukiamas būtinas modelio sukūrimui DEM sluoksnis su WGS_1984_UTM_ZONE_34N projekcija. Taip pat panaudojama kaukė apibrėžiant tiriamąją teritoriją ir įkeliamas upių tinklo *.shp* tipo sluoksnis, kadangi Vakarų Lietuvoje esančiame AD upės baseino reljefo aukščio reikšmės palyginti mažos ir taip DEM tinklui palengvina upių linijų vietų nustatymą teritorijoje.



13 pav. AD upės baseino apibūdinimo langas

Apibūdinant upes pasirenkama DEM-based funkcija su teritorijos skirstymu į 620 ha plotą ir lastelių dydžio skaičiumi į 265. Taip sukuriamas baseino upių tinklas ir automatiškai pridedami monitoringo išėjimo taškai. Aktyvavus funkciją Delineate watershed sugeneruojami 30 pabaseinių (žr. 14 pav.), kurie sunumeruojami skaitinėmis reikšmėmis - subbasin stulpelis atributų lentelėje.

Į projektą papildomai įtraukiamas kitų vandens telkinių (rezervuarų) sluoksnis. Tada rankiniu būdu pridedami dar 4 monitoringo taškai ir iš viso turimi 34 stebėjimo taškai žemėlapyje.



14 pav. AD suskirstymas į pabaseinius

Pagrindinės AD upės linijos ištakų teritorija automatiškai priskiriama 1 pabaseiniui, o žemyn upe link žiočių iš eilės pabaseiniai sunumeruojami iki galutinio išėjimo taško, kurio pabaseinis priskiriamas – 30.

2.3.2. HRU kūrimas

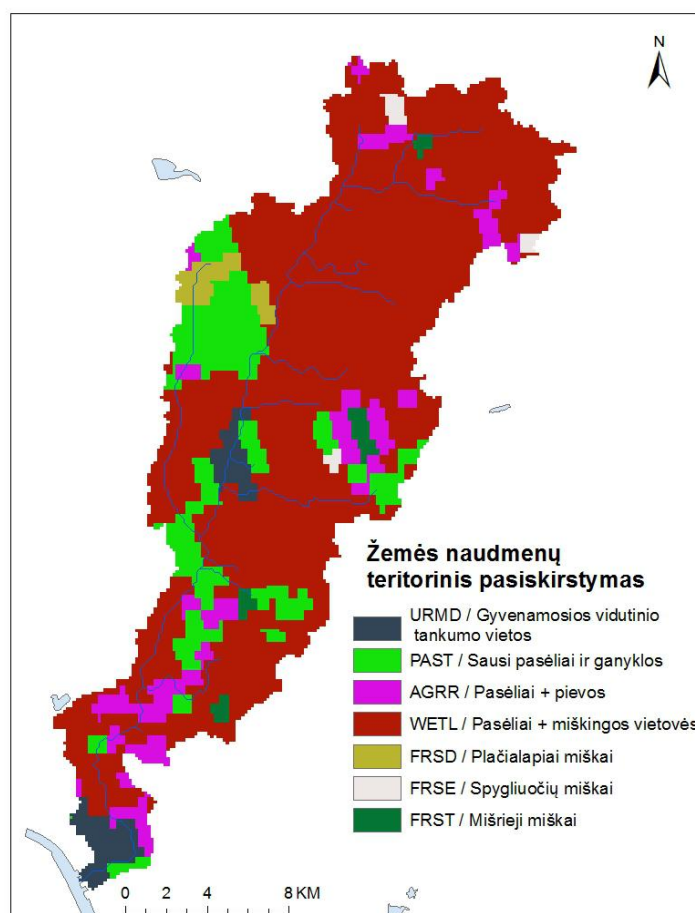
Šiame etape, prieš gaunant hidrologinio atsako vienetų (HRU) rezultatus tiriamajame AD upės baseine, įtraukiami žemės naudmenų ir dirvožemio sluoksniai ta pačia projekcija kaip DEM sluoksnis.

Žemės naudmenų sluoksnis padengia 100% tiriamos teritorijos. Panaudojama reklasifikavimo funkcija, apibūdinant lentelę rankiniu būdu išrenkamas klasės pavadinimas iš ArcSWAT pasirinktinių pavadinimų pagal reikšmę, esančią žemės naudmenų sluoksnio metaduomenyse. Prieš reklasifikavimą naudotas žemės naudmenų klasės tipo kodavimas transformuojamas į ArcSWAT naudojamą kodavimą, jis leidžia pasirinkti tik jo naudojamą kodavimo tipą, kuris skiriasi nuo paruošiamojo sluoksnio kodavimo tipo.

11 lentelė. Žemės naudmenų klasių pasiskirstymas AD upės baseine

Reikšmė metaduomenyse	Teritorijos padengimas (%)	Klasės tipo kodas paruošiamojo sluoksnio/transform uota ArcSWAT	Klasės tipo apibūdinimas
6	72,05	CRWO/WETL	Pasėliai (ariama žemė) + miškingos vietovės
2	12,51	CRDY/PAST	Sausi pasėliai (ariama žemė) ir ganyklos
5	8,2	CRGR/AGR	Pasėliai (ariama žemė) + pievos
1	3,47	URMD	Vidutinio tankumo gyvenamosios vietos
11	1,71	FODB/FRSD	Plačialapiai miškai
15	1,33	FOMI/FRST	Mišrieji miškai
14	0,75	FOEN/FRSE	Spygliuočių miškai

Kaip matome ArcSWAT reklasifikuotame žemės naudmenų sluoksnyje (žr. 15 pav.) nebėra vieno WATB vandens telkinių klasės tipo, kuris eliminuotas iš paruošiamojo sluoksnio dėl mažo padengimo procento.



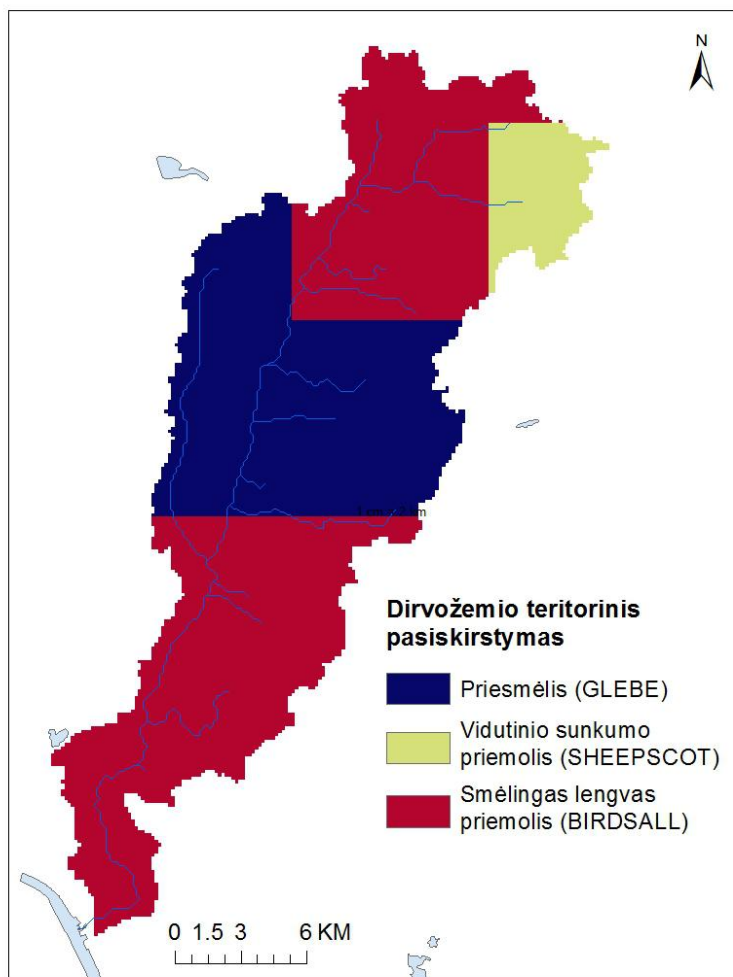
15 pav. Reklasifikuotas AD žemės naudmenų sluoksnis

Tokiu pačiu būdu reklasifikuojamas ir dirvožemio sluoksnis. Čia dirvožemio sluoksnis padengia 95% tiriamos teritorijos. Toks procentas vis dar atitinka reikalavimą ne mažiau 95% teritorijos padengimo HRU sukūrimui. Tai palyginti nedidelė lokali teritorija ir nedidelis dirvožemio duomenų taškų tankis tiriamoje teritorijoje, todėl konvertuojant į rastrinius duomenis, pasirinktas atitinkamas gardelės dydis, kad interpoliuotų padengimą tinkamu procentu.

12 lentelė. Dirvožemio klasių pasiskirstymas AD upės baseine

Reikšmė metaduomenyse	Teritorijos padengimas (%)	Klasės tipo kodas ArcSWAT	Klasės tipo apibūdinimas
6	57,17	BIRDSALL	Smėlingas lengvas priemolis
1	35,68	GLEBE	Priesmėlis
5	7,15	SHEEPSCOT	Vidutinio sunkumo priemolis

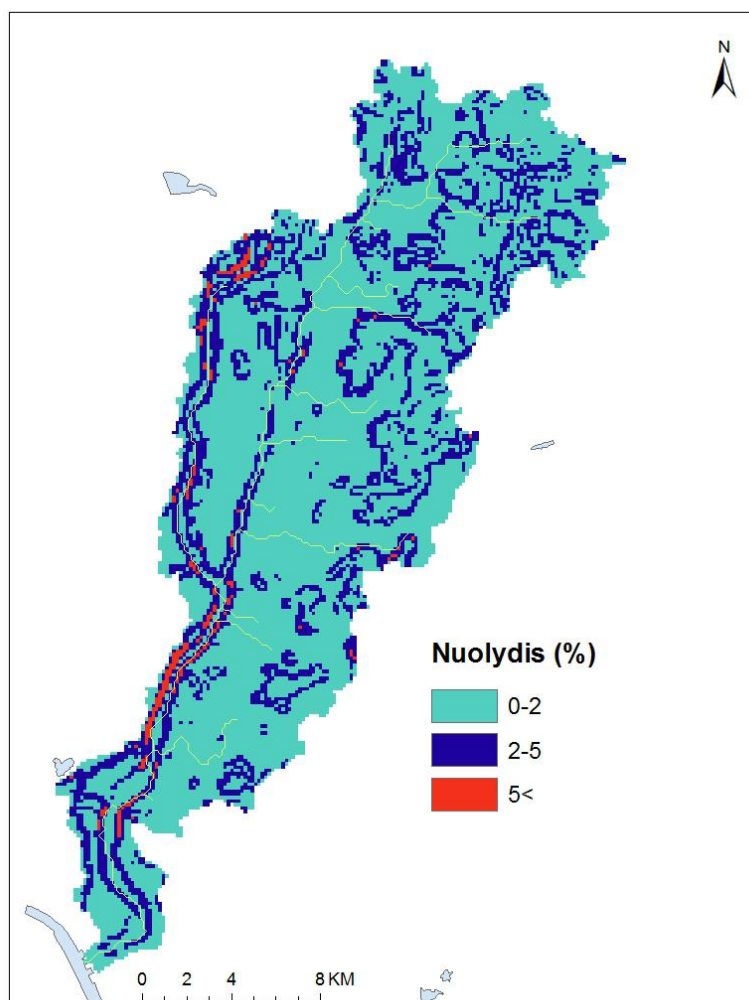
ArcSWAT optimizavus reikšmes į tiriamosios teritorijos ribas gaunami trys labiausiai paplitę dirvožemio tipai pagal Fere granulimetrinę sudėtį [30]. Kiekvienam tipui priskiriami ArcSWAT naudojami kodai reklasifikuojant paruošiamąjį sluoksnį.



16 pav. Reklasifikuotas AD dirvožemio sluoksnis

Tiriamos teritorijos dalį užima trys dirvožemio tipai – didžiąją dalį užima priesmėlis, vidutinio sunkumo priesmėlis ir nedidelę 7.15% šiaurės rytų teritorijos dalį užima smėlingas lengvas priemolis.

Nors AD upės baseino teritorijos reljefas nepasižymi kontrastingumu, tačiau reikalaujama sudaryti ir nuolydžio (slope) klasifikaciją (žr. 17 pav.). Tai trečia būtina funkcija norint sukurti HRU. Pasirenkamos trys klasės, jas sudarant ArcSWAT pasitelkia upės baseino minimalių, maksimalių reikšmių, vidurkio ir medianos statistikas.

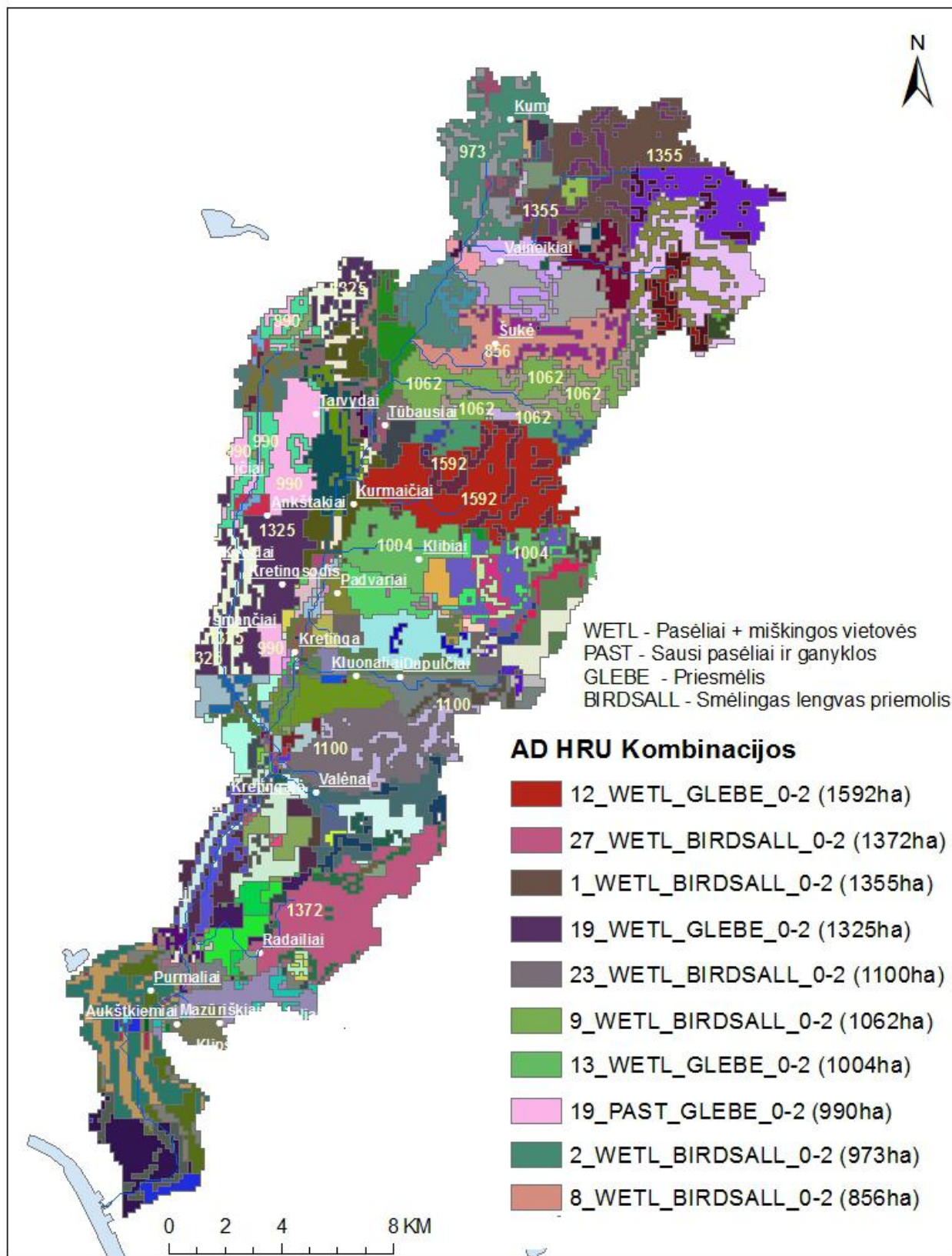


17 pav. Nuolydis (%)

Daugiau nei 5% proc. nuolydį galime pamatyti tik keliuose teritorijos vietose palei vakarinę jos dalį. Daugiausiai teritorijos padengiama nedideliu 0-2 proc nuolydžiu.

Įtraukus visus tris reikalingus sluoksnius persidengimui (overlay), sukuriamas HRU sluoksnis su unikaliomis žemės naudmenų, dirvožemio ir nuolydžio klasių kombinacijomis.

ArcSWAT sugeneravo virš 200 teritorijos hidrologinio atsako vienetų kombinacijų. Žemėlapis su pilna HRU kombinacijų legenda pateiktas 2-ame šio tiriamojo darbo priede. O kad žemėlapis neatrodytų labai apkrautas, išskiriamos 10 didžiausių HRU kombinacijų teritorijų (žr. 18 pav.) matuojamais hektarais iš *FullHRU* sluoksnio AREA atributų stulpelio.



18 pav. AD HRU kombinacijos

Panaudotas Jscript kodas atrenkant teritorijas HRU sluoksnyje, kurių plotas daugiau nei 850 ha:

```
function FindLabel ([AREA])
{
```



```

if (parseFloat([AREA]) >= 850){
return ("<FNT size = '10'>" + [AREA] + "</FNT>");
}
else
return null;
}

```

Labiausiai AD upės baseino teritorijoje dominuoja HRU kombinacijos sudarytos iš žemės naudmenų tipo pasėlių (ariamos žemės) + miškingos vietovės ir 0-2% esantis nuolydis. Didžiausias HRU kombinacijos plotas sugeneruotas Kurmaičių ir Tūbausių gyvenviečių (1592 ha). Virš 1300 ha plotų sugeneruoti trijose HRU teritorijose netoli Radailių, Vaineikių, Kretingsodžio gyvenviečių.

2.3.3. Meteorologiniai duomenys AD upės baseinui

Iš pasaulinio meteorologinių duomenų bazių tinklalapio globalweather.tamu.edu, apibrėžus norimos tiriamos teritorijos ribas, nemokamai gaunami duomenys [31] reikalingi tęsiant AD SWAT modelio kūrimą:

- pateikta užklausa meteorologiniams duomenims gauti: 2017 – 08 - 28.
- tiriamos teritorijos tolimiausių taškų koordinatės:
 - pietų platumos: 55.5473,
 - vakarų ilgumos : 20.8328,
 - šiaurės platumos: 56.4017,
 - rytų ilgumos: 21.6733,
- oro duomenų stočių skaičius: 9.
- duomenų laikotarpis: nuo 2000 – 01 -01 iki 2014 – 07 -31.

Įvedami išmatuoti meteorologiniai duomenys į modelį:

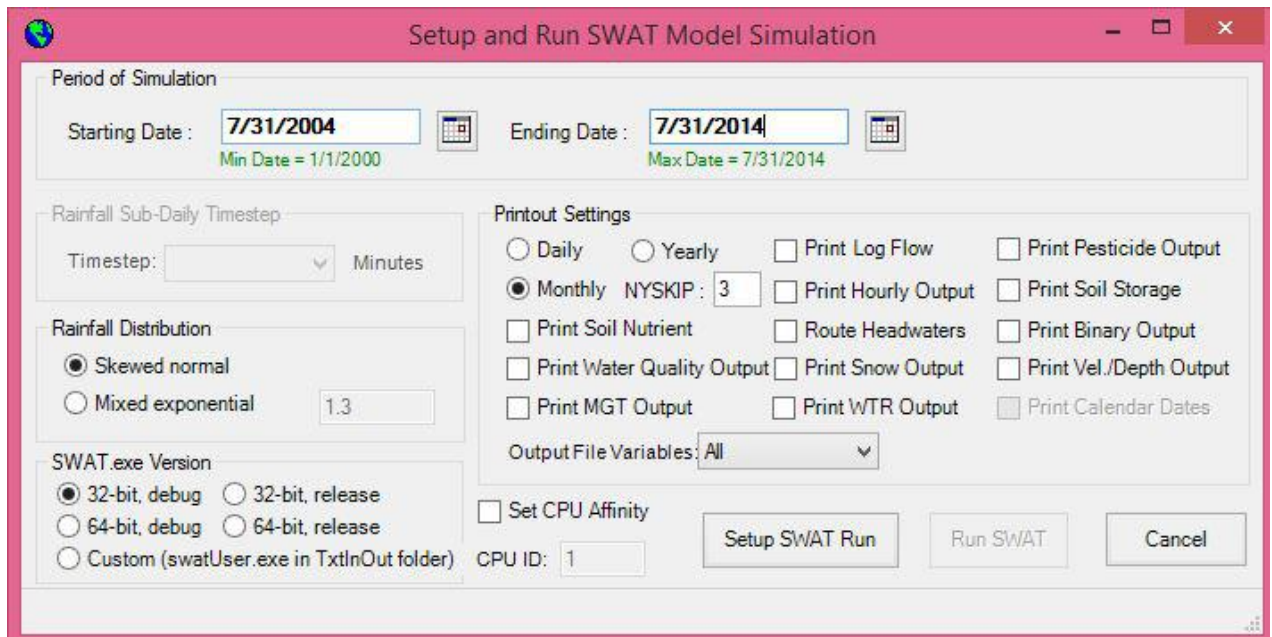
- Kritulių duomenys (mm).
- Temperatūros duomenys. Naudojamos dienos minimalios ir maksimalios reikšmės (°C).
- Saulės spinduliuotės duomenys (MJ/m²).
- Vėjo greičio duomenys (m/s).
- Santykinės oro drėgmės duomenys (trupmeninė išraiška, pvz.: 0,86...).

2.3.4. SWAT paleidimas

Šiame etape AD upės baseino modelis sukonfigūruojamas ir pilnai paruošiamas modelio vykdymui. Nustatomi parametrai:

- Modelio vykdymo periodo ilgis: 11 metų nuo 2004m (2004-07-31) iki 2014m (max 2014-7-31).

- Sušildymo periodas arba pusiausvyros laikotarpis: 3 metai. Pirmus tris metus modelis nespausdina išvesties rezultatų, ku mažesnis dominamas laikotarpis tuo šis pasirinkimas svarbesnis paleidimui [32]. Tokiu būdu rezultatai spausdinami 2007-2014 metų laikotarpiu.
- Laiko žingsnis: mėnesinis.



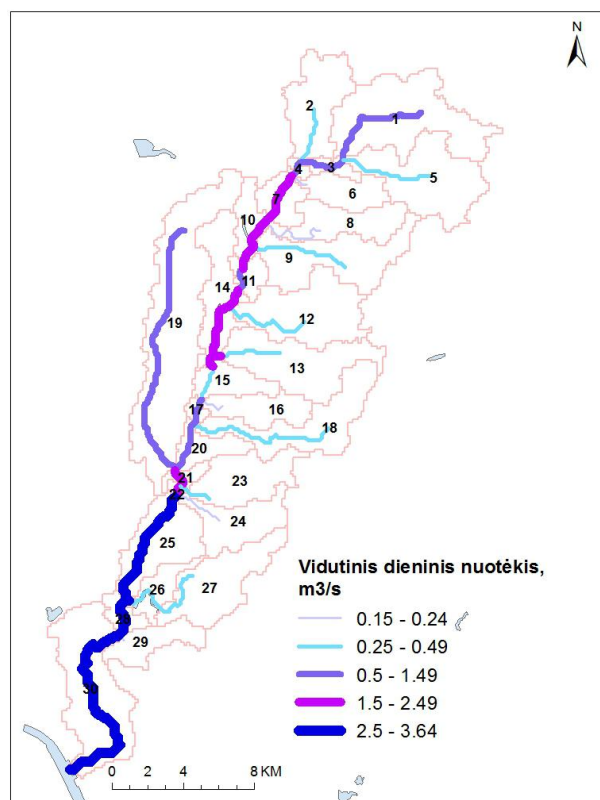
19 pav. AD SWAT modelio paleidimo langas

Įvertinus gautus AD modeliavimo rezultatus, būtų galima pasiūlyti taikyti atitinkamą priemonę, susijusią su vandens telkinių valdymo gerinimu.

3. REZULTATAI, APTARIMAS

3.1. AD SWAT modelio rezultatai

Kalbant apie upių hidrologiją ir supratimą kokio dydžio yra tiriamą upę ir kokios apkrovos vyksta baseine, pirmiausia atkreipiamas dėmesys į bendrą ar vidutinį nuotėkį iš baseino teritorijos. Lyginant su vidutiniu Nemuno upės nuotėkiu ir AD modelio išvesties rezultatus, galima teigti, kad Akmenos-Danės upės baseinas tikrai gali būti priskirtas prie mažų upės baseinų kategorijos, nes AD didžiausias vidutinis nuotėkis žemiausioje vietoje 30-ame pabaseinyje siekia $3,64 \text{ m}^3/\text{s}$ (žr. 20 pav.), o Nemuno upės nuotėkis ties Smalininkais Jurbarko raj. virš šimto kartų didesnis – $540 \text{ m}^3/\text{s}$ [33].



20 pav. Vidutinis dienis nuotėkis pabaseiniuose

Mažiausi nuotėkiai nesiekia nė pusės kubo per sekundę mažesniuose AD intakuose ir atkarpa esanti 15-ame pabaseinyje, kur įtakoja aukščiau šios vietos esantys Tūbausių ir Padvarių tvenkiniai.

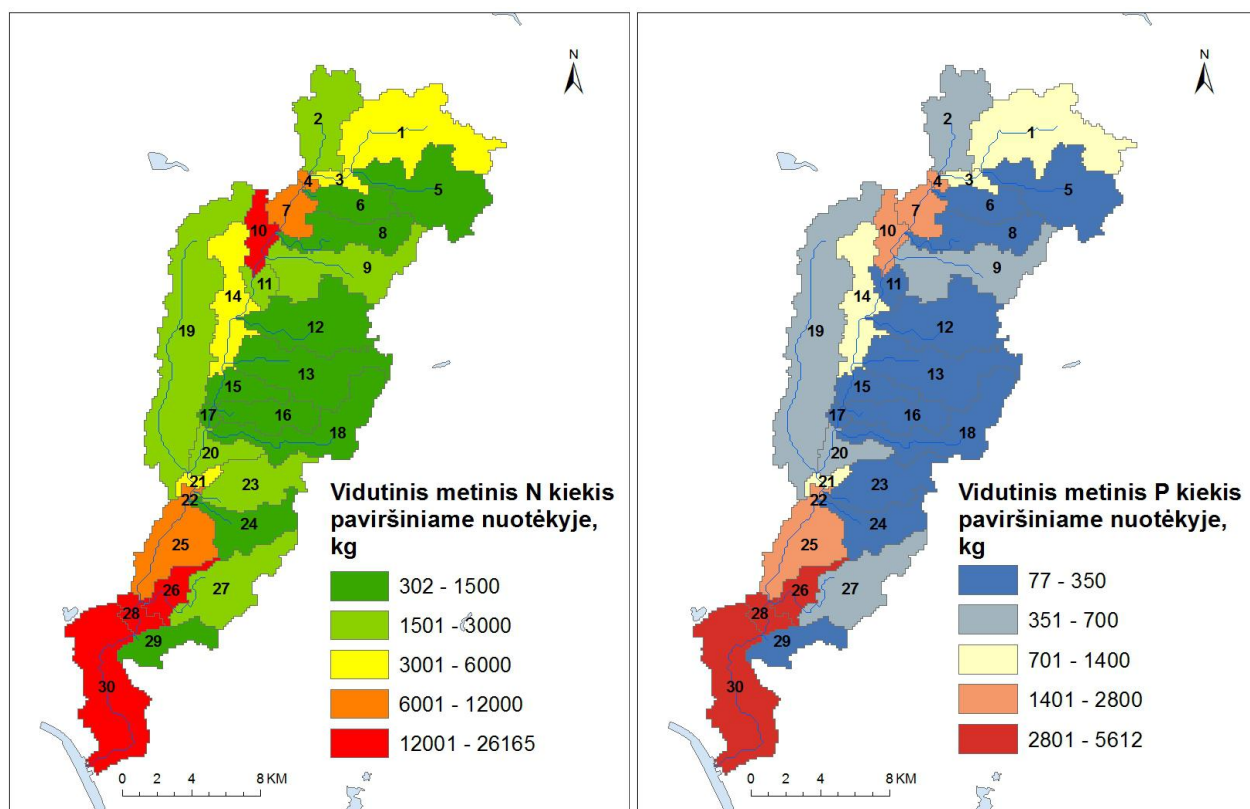
Tiriamo laikotarpio AD SWAT modelio rezultatų amplitudė gana tiksliai atspindi ir realius išmatavimus: ID 75, Akmena-Danė žemiau Kretingos, stotyje, nors yra tik pavieniai įrašai analizuojant 2004-2014 m. laikotarpį (žr. 13 lentelę).

13 lentelė. Realūs dieninio nuotėkio matavimai AD upės baseine

Data	m ³ /s
2010.02.04	2,33
2010.05.04	2,24
2010.07.21	1,48
2010.10.18	1,1
2013.02.21	2,52
2013.05.23	3,61
2013.07.15	0,72
2013.09.23	2,55

Realių išmatavimų amplitudė nuo 0.72 iki 3.62 m³/s, AD SWAT modelio - nuo 0,15 iki 3,64 m³/s. Jeigu mažiausia reikšmė skiriasi pusę kubo, tai didžiausia reikšmė beveik sutampa, skirtumas tik 0,02 kubo.

Lietuvoje daug dėmesio skiriama vandens kokybės tyrimams. Bendru mastu azoto (N) ir fosforo (P) medžiagų poveikis vandens taršai yra nežymus, tačiau AD upės baseinas vistiek vis dar įtraukiamas į rizikos telkinių sąrašą [3]. AD SWAT modelio rezultatai rodo, kad šių medžiagų kiekiai paviršiniame nuotėkyje labai panašiai pasiskirstę pabaseiniuose, skirtumas, toks kad P kiekiai apie penkis kartus mažesni (žr. 21 pav.).



21 pav. Vidutiniai metiniai N ir P kiekiai paviršiniame nuotėkyje AD upės baseine

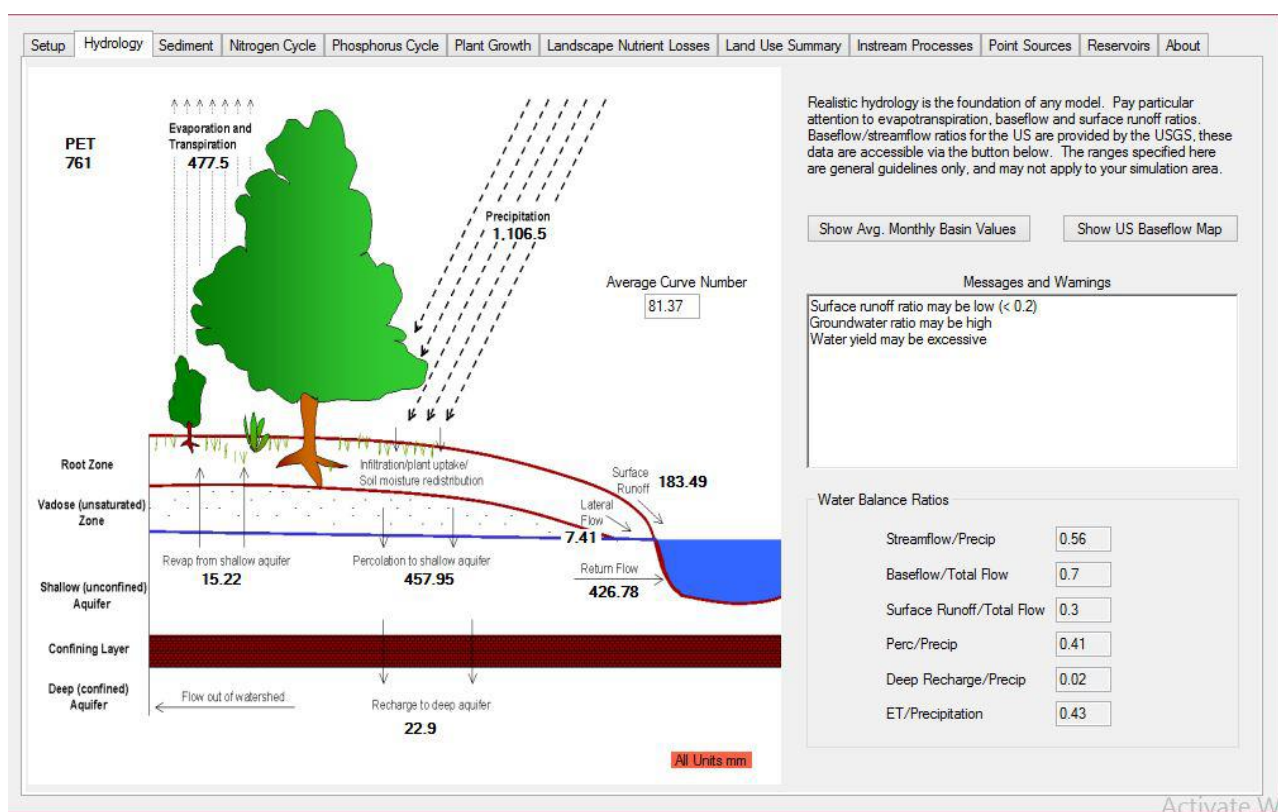
Didžiausius kiekius SWAT modelis skaičiuoja AD upės žemupyje esančiuose 26, 28, 29 ir aukštupyje 10, 7 ir 4 pabaseiniuose. Pastaruosiuose nedidelio ploto pabaseiniuose telkšo Tūbausis

tvenkinys, bei jame yra įrengta hidroelektrinė, kuri ir įtakoja ženklus N ir P kiekius. Mažiausi medžiagų kiekiai – rytiniuose teritorijose pabaseiniuose.

3.1.1. Hidrologinė informacija

Analizuojant kitus AD SWAT modelio išvesties (output) rezultatus pasitelkiama SWAT Error checker programa, kuri suderinta su ArcSWAT plėtiniu. Ši programinė įranga vizualiai pateikia įvairių tipų išvesties rezultatų vaizdą, kuris ypač padeda pradedantiems SWAT modeliavimo vartotojams.

Hidrologinės informacijos skiltyje (žr. 22 pav.) verta atkreipti dėmesį į tris komponentus - paviršinį nuotėkį, horizontalų srautą ir požeminį vandenį. Visų komponentų kintamieji išreikšti mm, vidutiniais metiniais baseino mėnesinėmis dydžio reikšmėmis.



22 pav. Hidrologiniai procesai AD SWAT modelyje

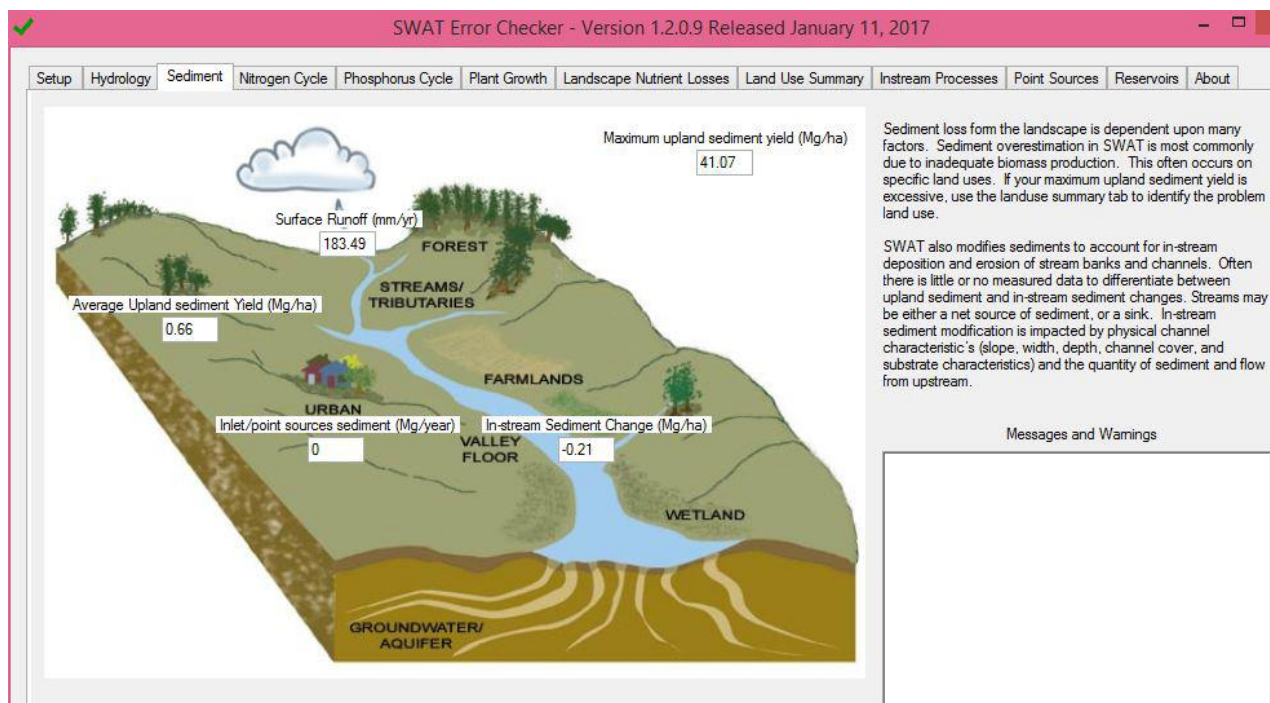
Minėtų trijų komponentų suma nurodo bendrą vandens išėigą į pagrindinę upės vagą: $183,49 + 7,41 + 426,78 = 617.68$ mm.

14 lentelė. SWAT error checker hidrologiniai procesai

Komponentas	Kodas Output faile	Apibūdinimas SWAT dokumentacijoje	Matavimo vienetas
Paviršinis nuotėkis (surface runoff)	SURFACE RUNOFF Q	Paviršinis nuotėkis baseine	mm
Horizontalus srautas (lateral flow)	LATERAL SOIL Q	Horizontalus srautas į upę baseine	mm
Požeminis vanduo (return flow)	GROUNDWATER (SHAL AQ) Q	požeminio vandens išėiga į upę baseine	mm
Bendras vandens kiekis vandeningajame sluoksnyje (percolation to shallow aquifer)	TOTAL AQ RECHARGE	Bendras vandens kiekis, įeinantis į vandeninguosius sluoksnius baseine	mm
Giluminis vanduo (recharge to deep aquifer)	DEEP AQ RECHARGE	Giluminis vandens kaupimasis vandeningajame sluoksnyje baseine	mm
Vanduo pasisavinamas augalų (revap from shallow aquifer)	SHAL AQ => SOIL/PLANTS	Vandens kiekis, pereinantis iš seklaus vandeningojo sluoksniu į augalų/dirvožemio profilį baseine.	mm
Krituliai (precipitation)	PRECIP	Vidutinis kritulių kiekis baseine	mm
Suminis garavimas (evaporation and transpiration)	ET	Faktinis suminis garavimas basein	mm
Potencialus suminis garavimas	PET	Potencialus suminis garavimas baseine	mm

3.1.2. Nuosėdos

Sekančiame lange vaizduojama nuosėdų išplovą į upę ir SWAT modelis teigia, kad gali būti sugeneruojami neadekvatūs nuosėdų kiekiai kalbant apie didžiausią nuosėdų išėigą turintį HRU vienetą, kas panašu atsitinka ir šiuo atveju, nes 28-ame ir 26-ame HRU vienetė, kurie atitinka taip pat ir pabaseinius, daug kartų didesnis kiekis lyginant su likusiais pabaseiniais: 28-ame - 41,07 t/h, kai 26-ame – 12,72 t/h ir likusiuose nesiekia nė pusės t/h išplovos.



23 pav. Nuosėdos AD SWAT modelyje

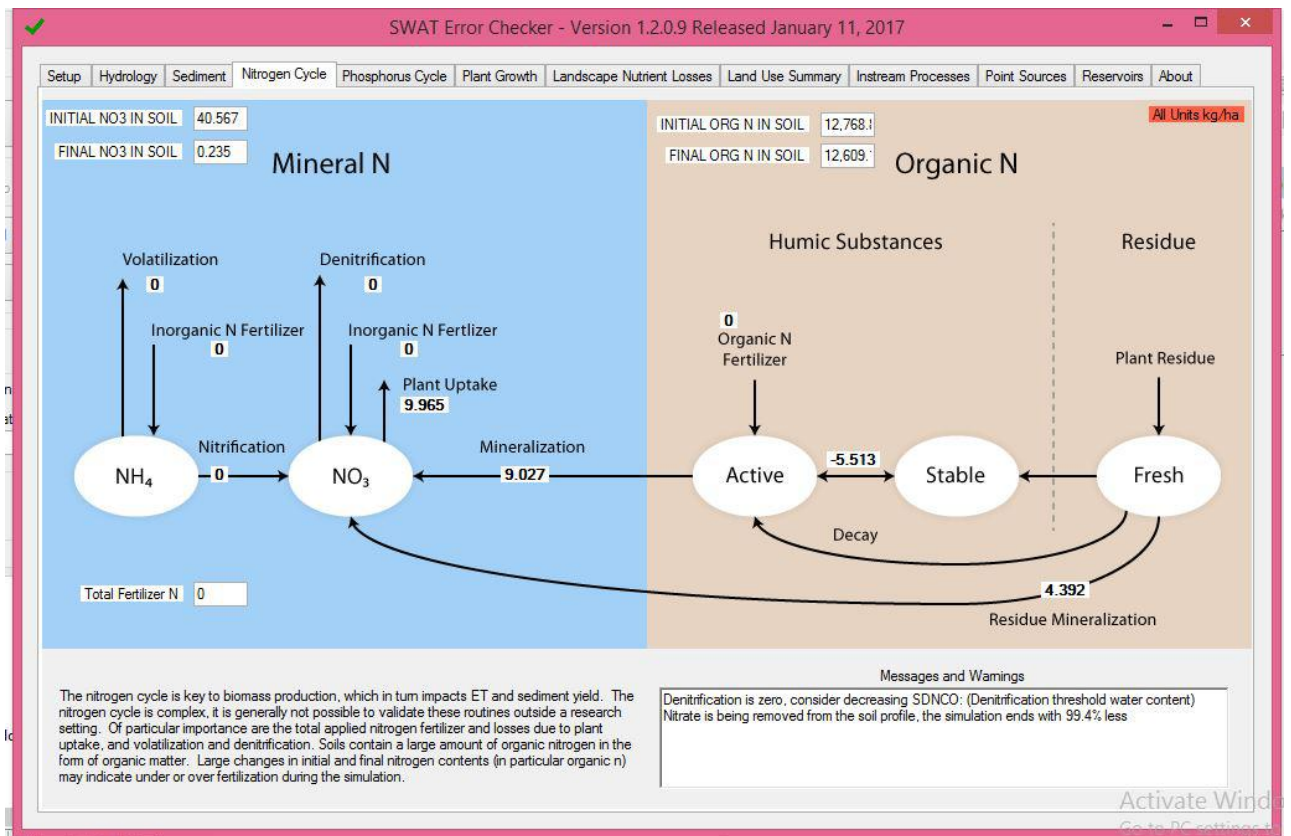
Kairėje esantis komponentas (žr. 23 pav.) rodo bendrą metinę vidutinę nuosėdų išeigą – 0,66 t/h, kuri būtų žymiai mažesnė, jei ne minėtieji HRU vienetų sugeneruoti rezultatai.

15 lentelė. SWAT error checker nuosėdos

Komponentas	Kodas Output faile	Apibūdinimas SWAT dokumentacijoje	Matavimo vienetas
Vidutinė nuosėdų išeiga (average upland sediment yield)	TOTAL SEDIMENT LOADING	Bendra vidutinė nuosėdų išeiga iš HRU baseine	t/ha
Suminis maišymosi efektyvumas (in-stream sediment change)	MIXEF	HRU suminis maišymosi efektyvumas	-
HRU didžiausia nuosėdų išeiga (maximum upland sediment yield)	SEDTH	Didžiausia nuosėdų išeigą turintis HRU vienetą	t/ha

3.1.3. Azoto ciklas

Azoto ciklas – svarbus procesas biomasės produkcijai, o tai savo ruožtu daro įtaką suminiam garavimui ir nuosėdų išeigai. Šio proceso neįmanoma validuoti ne mokslinių tyrimų aplinkoje. Ypač svarbios yra visos panaudotos azoto trąšos ir išplova dėl augalų įsisavinimo, išgarinimo ir denitrifikacijos.



24 pav. Azoto ciklas AD SWAT modelyje

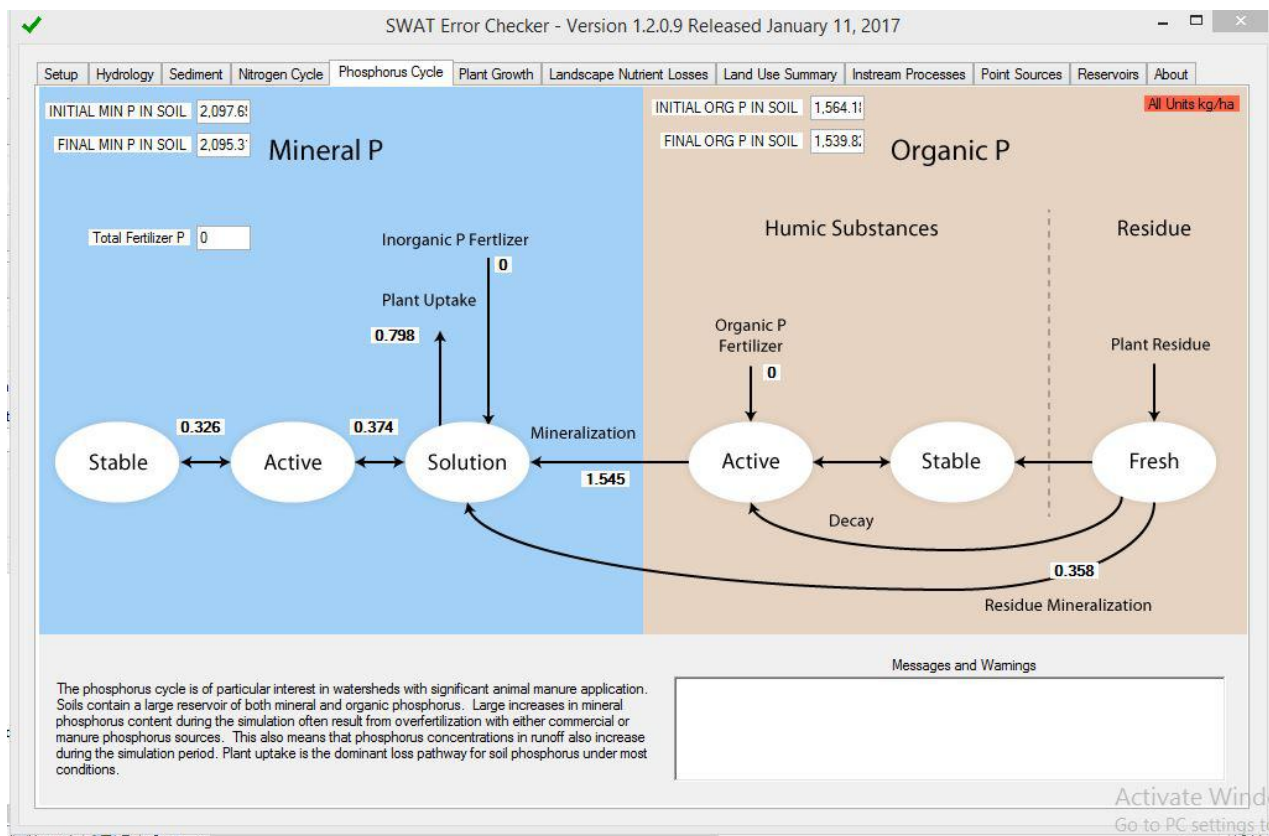
Didelis pokytis lyginant pradinį (inicijuotą) azoto nitratų (NO₃) kiekį su galutiniu, 99,4% nitratų pašalinama iš dirvožemio profilio, kai tuo tarpu organinio azoto (N) tik 1,25%.

16 lentelė. SWAT error checker azoto ciklas

Komponentas	Kodas Output faile	Apibūdinimas SWAT dokumentacijoje	Matavimo vienetas
Pradinis NO_3 dirvožemyje	INITIAL NO_3 IN SOIL	Pradinis vidutinis azoto (N) kiekis nitratų lauke, esantis baseino dirvožemyje.	kg/ha
Galutinis NO_3 dirvožemyje	FINAL NO_3 IN SOIL	Galutinis vidutinis azoto (N) kiekis nitratų lauke, esantis baseino dirvožemyje.	kg/ha
Augalų N įsisavinimas (plant uptake)	N UPTAKE	Augalų azoto (N) įsisavinimas baseine	kg/ha
N mineralizacija (mineralization)	HUMUS MIN ON ACTIVE ORG N	Vidutinis metinis azoto (N) kiekis, pereinantis iš aktyviojo organinio į nitratų lauką baseine.	kg/ha
Pradinis org N dirvožemyje	INITIAL ORG N IN SOIL	Pradinis vidutinis azoto (N) kiekis organiniame N lauke, esantis baseino dirvožemyje.	kg/ha
Galutinis org N dirvožemyje	FINAL ORG N IN SOIL	Galutinis vidutinis azoto (N) kiekis organiniame N lauke, esantis baseino dirvožemyje.	kg/ha
Aktyvus N į stabilų	ACTIVE TO STABLE ORG N	Vidutinis metinis azoto (N) kiekis, pereinantis iš stabilaus aktyviojo N lauko į stabilų organinį N lauką.	kg/ha
Org N liekana (residue mineralization)	MIN FROM FRESH ORG N	Vidutinis metinis azoto (N) kiekis, pereinantis iš šviežaus organinio (liekanos) į nitratų ir aktyvų organinį lauką baseine.	kg/ha

3.1.4. Fosforo ciklas

Fosforo ciklas svarbus tuose baseinuose, kuriuose yra reikšmingas kiekis gyvūninės kilmės trąšos. Didelio mineralinio fosforo kiekio padidėjimas modeliavimo metu dažnai būna dėl pernelyg didelio tręšimo su komerciniais ar fosforo trąšų šaltiniais. Tai taip pat reiškia, kad fosforo koncentracija nuotėkio metu taip pat padidėja modeliavimo laikotarpiu. Labiausiai dirvožeminį fosforą įsisavina augalai.



25 pav. Fosforo ciklas AD SWAT modelyje

Skirtingai nuo azoto ciklo modelio vykdymo metu beveik šimtaprocentiniu nitratų pašalinimu iš dirvožemio, tai fosforo cikle tiek mineralinio, tiek organinio fosforo pašalinama nedidelis procentas: atitinkamai 0,11% ir 1,56% nuo inicijuoto kiekio.

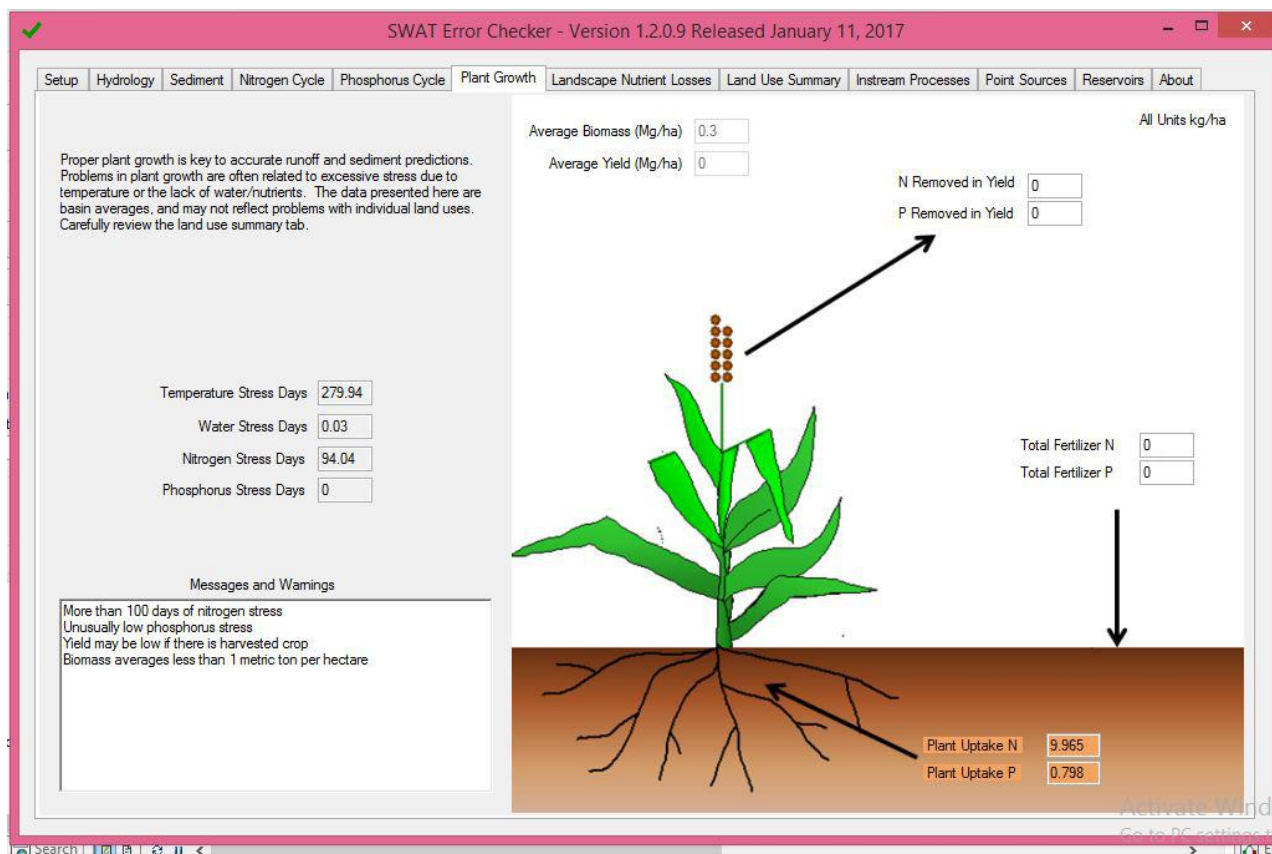
Dėl šio rezultato, ryškus skirtumas N ir P augalų įsisavinime, jeigu N įsisavinama beveik 10 kg/ha, tai P tik 0.8 kg/ha.

17 lentelė. SWAT error checker fosforo ciklas

Komponentas	Kodas Output faile	Apibūdinimas SWAT dokumentacijoje	Matavimo vienetas
Pradinis mineralinis P dirvožemyje	INITIAL MIN P IN SOIL	Pradinis vidutinis fosforo (P) kiekis mineralinio azoto lauke, esantis baseino dirvožemyje.	kg/ha
Galutinis mineralinis P dirvožemyje	FINAL MIN P IN SOIL	Galutinis vidutinis fosforo (P) kiekis mineralinio azoto lauke, esantis baseino dirvožemyje.	kg/ha
Augalų P įsisavinimas (plant uptake)	P UPTAKE	Augalų fosforo (P) įsisavinimas baseine	kg/ha
P mineralizacija (mineralization)	HUMUS MIN ON ACTIVE ORG P	Vidutinis metinis fosforo (P) kiekis, pereinantis iš aktyviojo organinio į nitratų lauką baseine.	kg/ha
Nestabilus P į aktyvų	ACTIVE TO SOLUTION P FLOW	Vidutinis metinis fosforo (P) kiekis, pereinantis iš nestabilaus mineralinio į aktyvų mineralinį lauką baseine.	kg/ha
Aktyvus P į stabilų	ACTIVE TO STABLE P FLOW	Vidutinis metinis fosforo (P) kiekis, pereinantis iš aktyvaus mineralinio į stabilų mineralinį lauką baseine.	kg/ha
Pradinis org P dirvožemyje	INITIAL ORG P IN SOIL	Pradinis vidutinis fosforo (P) kiekis organiniame P lauke, esantis baseino dirvožemyje.	kg/ha
Galutinis org P dirvožemyje	FINAL ORG P IN SOIL)	Galutinis vidutinis fosforo (P) kiekis organiniame P lauke, esantis baseino dirvožemyje.	kg/ha
Org P liekana (residue mineralization)	MIN FROM FRESH ORG P	Vidutinis metinis azoto (P) kiekis, pereinantis iš šviežaus organinio (liekanos) į nestabilų ir organinį laukus baseine	kg/ha

3.1.5. Augalų augimas

Tinkamas augalų augimas yra raktas į tikslią nuotėkio ir nuosėdų prognozę. Augalų augimo problemos dažnai susijusios dėl didelio temperatūros pokyčio ar vandens/maistinių medžiagų trūkumo. Šiame skirtuke (žr. 26 pav.) baseino vidurkiai gali neatspindėti problemų, susijusių su individualiu žemės naudojimu.



26 pav. Augalų augimas AD SWAT modelyje

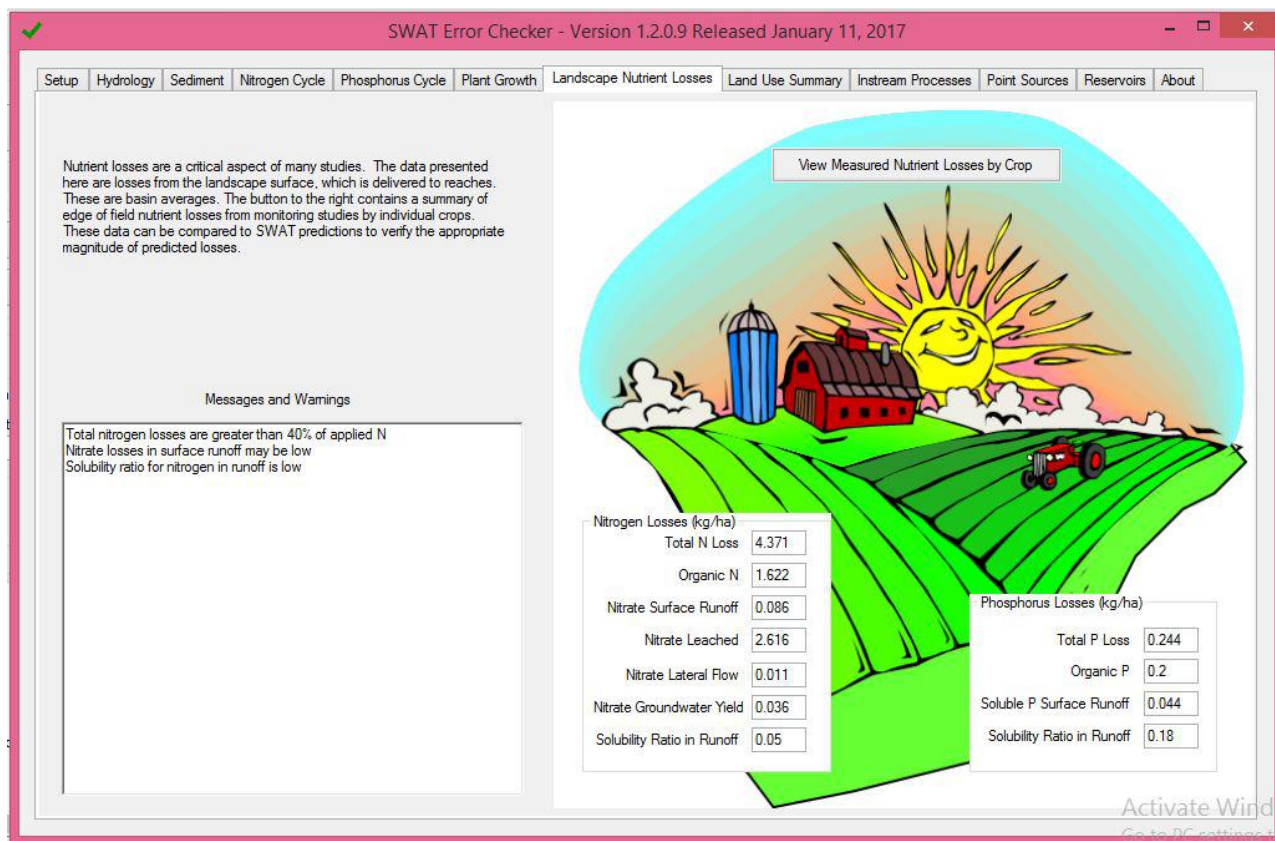
SWAT error checker pranešimų langelyje teigiama kad neįprastai mažai fosforo stresinių dienų. Lietuvoje pakankamai išvystyta agrokultūra ir patenkinamos meteorologinės sąlygos modeliui gauti nulinį fosforo stresinių dienų rezultatą. Šis mažas AD upės baseinas yra arti Baltijos jūros ir tai gali paaiškinti gana didelį temperatūros stresinių dienų skaičių – 279,94. Kadangi šiame regione vasaros metu būna vėšiau lyginant su likusia visa žemynine Lietuvos dalimi.

18 lentelė. SWAT error checker augalų augimas

Komponentas	Kodas Output faile	Apibūdinimas SWAT dokumentacijoje	Matavimo vienetas
Temperatūros stresinės dienos	TEMPERATURE STRESS DAYS	Stresinės temperatūros dienos per 1 metus, kurias sukelia vienodi ar nevienodi temperatūros pokyčiai [34].	diena
Vandens stresinės dienos	WATER STRESS DAYS	Stresinės vandens dienos per 1 metus, jos atsiranda tada, kai vandens paklausa per tam tikrą laikotarpį viršija turimą kiekį arba kai prasta kokybė riboja jo naudojimą [35].	diena
Azoto stresinės dienos	NITROGEN STRESS DAYS	Stresinės azoto dienos per 1 metus, kai augaluose susidaro azoto deficitas [36].	diena
Fosforo streso dienos	PHOSPHORUS STRESS DAYS	Stresinės fosforo dienos per 1 metus, kai susidaro fosforo deficitas.	diena
Vidutinė biomasė (average biomass)	BIOMTH	Mėnesinės vidutinės biomasės reikšmės HRU vienetuose	t/ha

3.1.6. Maistinės medžiagos

Maistinių medžiagų išplovos yra svarbus daugelio tyrimų aspektas. Pateikti duomenys esantys 27 pav. iš sausuminės dalies paviršiaus ir išplovos patekusios į upes. Tai baseinų vidurkiai. Dešiniajame skirtuko kampe pateikiama maistinių medžiagų išplovų santrauka, kuri gali būti analizuojama individualiai pagal žemės naudmenų tipą. Šie duomenys gali būti lyginami su SWAT prognozėmis, siekiant patikrinti numatomą išplovos kiekio dydį.



27 pav. Maistinių medžiagų išplovos AD SWAT modelyje

SWAT error checker atkreipia dėmesį, kad maži azoto išplovos kiekiai bei mažas N tirpumo santykis nuotėkyje – 0,05 kg/ha, P tirpumas šiek tiek didesnis – 0,18, bet bendras P išplovos kiekis daug mažesnis lyginant su N bendra išplova.

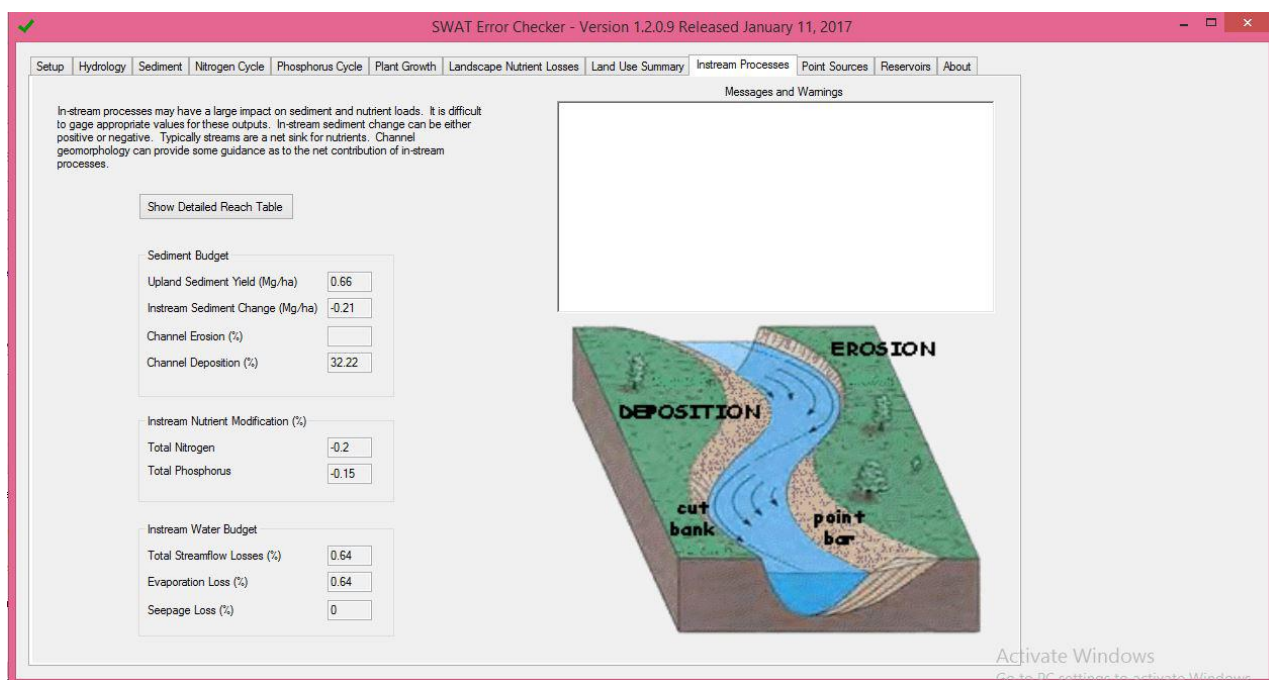
19 lentelė. SWAT error checker kiti komponentai

Komponentas	Apibūdinimas SWAT dokumentacijoje	Matavimo vienetas
Bendra N išplova (total N loss)	Bendra N išplova	kg/ha
Bendra P išplova (total P loss)	Bendra P išplova	kg/ha
Upės nuosėdos (channel deposition)	Upės vagos nuosėdos	%
Rezervuarų vandens išeiga (total removed + losses)	Bendra vandens išeiga iš kitų vandens telkinių (rezervuarų)	%

3.1.7. Vidiniai upės vagos procesai

Vidiniai upės vagos procesai gali turėti didelį poveikį nuosėdų ir maistinių medžiagų apkrovai. Sunku rasti reikiamas šių rezultatų vertes. Upės vagos nuosėdų maišymasis efektyvumą gali būti teigiamas arba neigiamas. AD SWAT modelis rodo neigiamą -0,21 kg/ha maišymosi efektyvumą. Paprastai upės yra maistinių medžiagų gryoji kriauklė. Kanalo geomorfologija gali pateikti tam

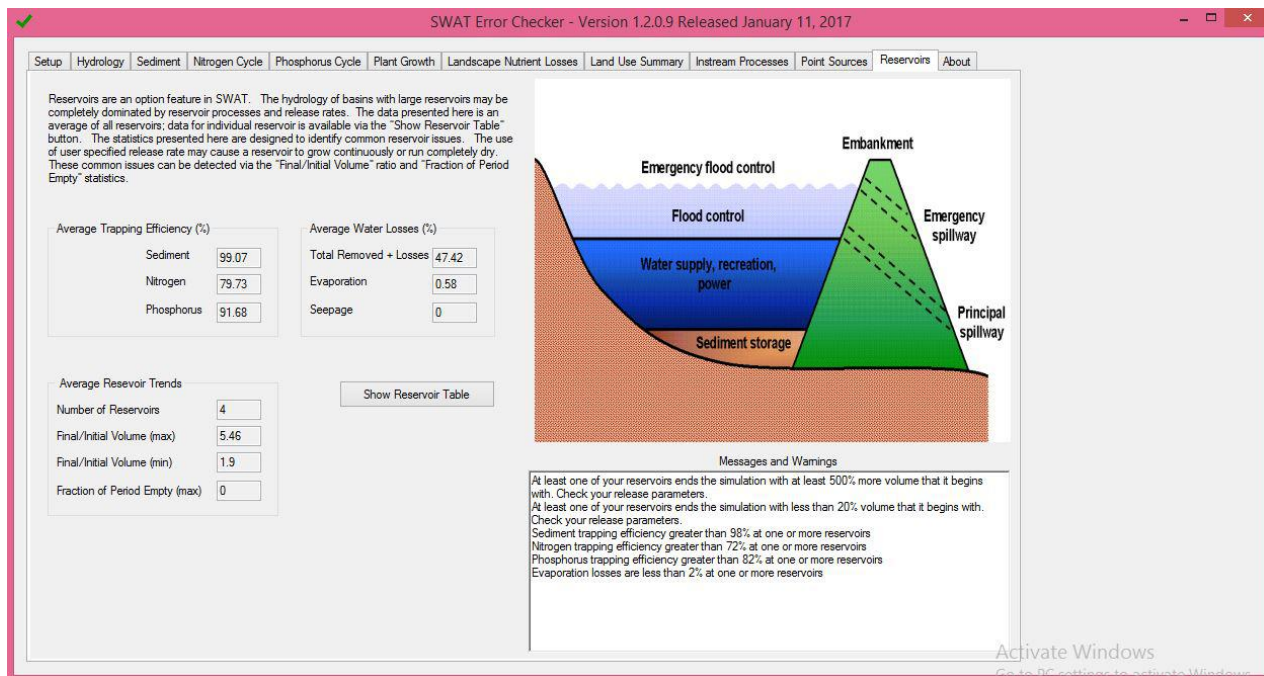
tikras gaires tiriant gryną upės vagos procesų kontribuciją. Apie kanalo eroziją, SWAT modelis rezultato nepateikia, tačiau apskaičiuoja upės vagos nuosėdų procentą, kuris lygus 32,22.



28 pav. Vidiniai upės vagos procesai AD SWAT modelyje

3.1.8. Kiti vandens telkiniai

Viena iš SWAT pasirinkimo galimybių – kitų vandens telkinių įtraukimas (rezervuarai). Dideli rezervuarai gali visiškai nulemti upės baseinų hidrologiją: vidiniais rezervuaro procesais ir išleidimo koeficientais. Šiame skirtuke (žr. 29 pav.) pateikti duomenys yra visų rezervuarų vidurkis skirtas nustatyti bendrą rezervuaro būklę. Yra galimybė panaudoti vartotojo nurodytą išleidimo koeficientą ir rezervuaras tada gali nuolat augti arba visiškai išdžiūti.



29 pav. Kiti vandens telkiniai AD SWAT modelyje

Verta atkreipti dėmesį į bendrą rezervuarų vandens išėigą į AD upę, kuri lygi 47,42%. Didžiausią išleidimo koeficientą 5,46 SWAT modelis sugeneravo 3-ame rezervuare (Padvarių tv.).

3.2. Klimato kaitos scenarijų modelis

Viena aktualiausių temų šiais laikais – klimato kaita. ArcSWAT suteikia galimybę keisti norimus parametrus Edit SWAT Input žingsnyje. Taikant klimato kaitos scenarijus AD SWAT modeliui pasiremiamas tarpvyriausybės klimato kaitos komisijos (IPCC) parengta penktąja vertinimo ataskaita (AR5) [37].

AD SWAT modeliui pritaikomi trys klimato kaitos scenarijai – temperatūros, kritulių ir CO₂ padidėjimas. Visi parametrai pasiekiami per Edit Subbasins Data sekciją. Kaip ir IPCC ataskaitoje taip ir AD SWAT modeliui pritaikomas klimato kaitos scenarijaus kodavimas:

- Tikėtinas scenarijus - RCP2.6.
- Tarpinis scenarijus - RCP4.5 arba RCP6.0.
- Labai mažai tikėtinas – RCP8.5.

1. Temperatūros padidėjimas. Globalus temperatūros didėjimas - labiausiai pabrėžiamas klimato kaitos scenarijus IPCC ataskaitoje. AD SWAT modeliui pritaikomi temperatūros padidėjimo scenarijai:

- tempRCP2.6, +1°C.
- tempRCP6.0, +3°C.
- tempRCP8.5, +8°C.

Čia keliamos mažiausios (TMPMN) ir didžiausios (TMPMX) dienos vidurkio temperatūros parametrų mėnesinės reikšmės ir pritaikoma visam AD upės baseinui.

Edit Weather Generator Data: Subbasin 1

Weather Station Parameters

Station Name	WLATITUDE (deg)	WLONGITUDE (deg)	WELEV (m)	RAIN_YRS (yrs)
Sample	33.65	-95.69	179.8	83

Monthly Weather Parameters

Parameter: **TMPMX** ()

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
11.9	13.9	18.8	23.6	27.6	32.3
Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
34.8	34.9	31.4	25.7	18.4	13.1

Edit Values **Cancel Edits** **Save Edits** **Exit**

Extend Parameter Edits

- ☐ Extend ALL WGN Parameters
- ☐ Extend Edits to Current Subbasin
- ☒ Extend Edits to All Subbasins
- ☐ Extend Edits to Selected Subbasins

Selected Subbasins

Subbasins

30 pav. AD SWAT TMPMX parametro redagavimo langas

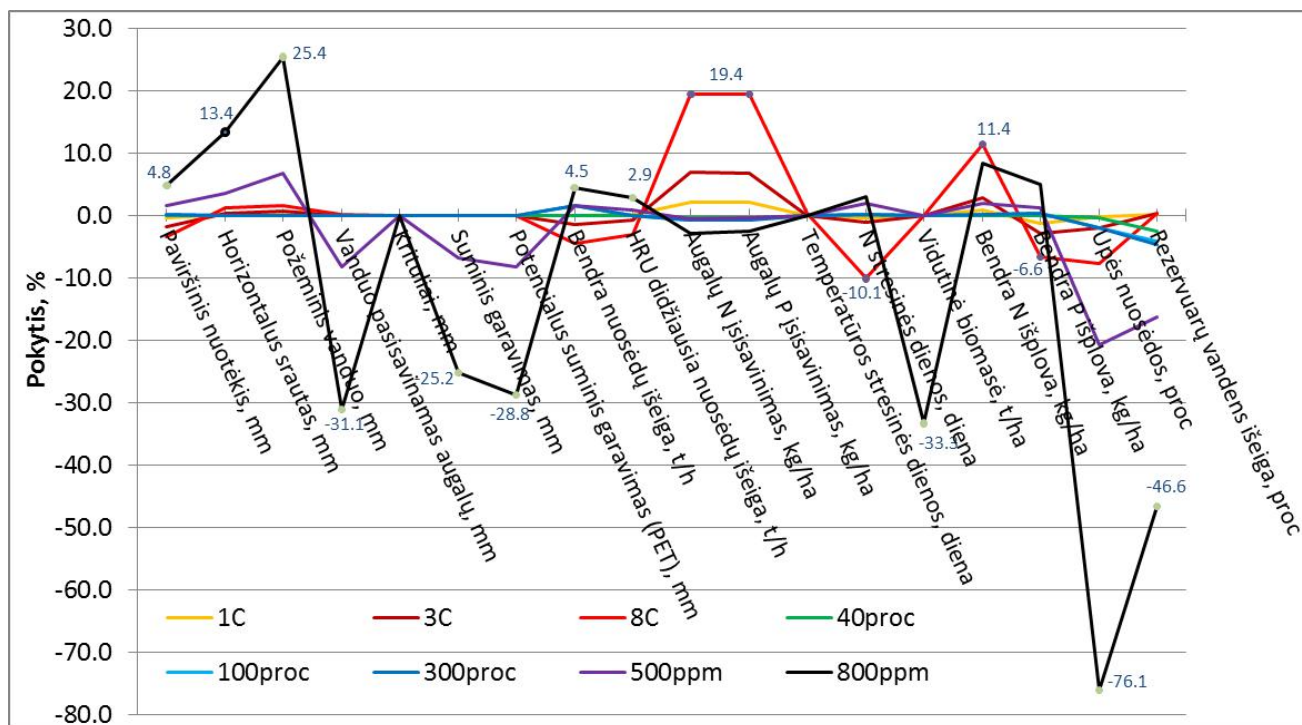
2. Kritulių padidėjimas. AD upės baseinas yra tokioje klimato juostoje, kur iškrenta nemažas kiekis kritulių ir jis gali dar padidėti, todėl taip pat pritaikomas padidėjimas kritulių mėnesinėms reikšmėms PCPMM parametrui, pridedama procentinė kiekio dalis nuo kiekvienos mėnesinės reikšmės:

- kritRCP2.6, +40%.
- kritRCP6.0, +100%.
- kritRCP8.5, + 300%.

3. CO₂ padidėjimas. Kaip ir globalus temperatūros didėjimas, taip ir CO₂ emisijos didėjimas yra plačiai nagrinėjama tema. Redagavimo lange keičiama priskirta pradinė 330 ppm (CO₂ kiekis šviežiam ore) reikšmė į:

- CO₂RCP4.5, 500 ppm.
- CO₂RCP6.0 – 8.5, 800 ppm (maksimali leidžiama įvesti reikšmė).

Iš viso sugeneruojami 8 klimato kaitos scenarijai, SWAT vykdymo konfigūracijoje priskiriamas toks pat 2004.07.31 – 2014.07.31 laikotarpis ir kiekvienu atveju gaunamas rezultatas, kuris parodo kokią įtaką daro kiekvienas scenarijus pagrindiniams SWAT komponentams. Detalūs pokyčio rezultatai kiekvienam SWAT komponentui pateikta 3 priede. Išskiriama 18 pagrindinių komponentų, kurių pokytis procentais nuo pagrindinio AD SWAT modelio rezultatų labiausiai išryškėja (žr. 31 pav.).



31 pav. Klimato kaitos scenarijų modelio rezultatų pokytis

Didžiausi sumažėjimo pokyčiai nuo pagrindinio AD SWAT modelio reikšmės sugeneruojamas tada, kai padidinama CO₂ emisija iki maksimalios 800 ppm reikšmės. Pagal CO₂ RCP6.0 – 8.5 scenarijų didžiausi pokyčiai 11-oje (daugiau nei pusė išskiriamų) komponentų, virš 30% sumažėjusios ar padidėjusios reikšmės pasikeitimas: upės nuosėdos - 76,1% sumažėjimas, vidutinės biomasės sumažėjimas AD baseine 33,3%, tiesa, tik šitame scenarijuje pastebimas šito komponento pokytis, vanduo pasisavinamas augalų – sumažėjimas 31,1%. Taigi jeigu ženkliai sumažėja vidutinė biomasa baseine, tai logiškas ryškus augalų vandens pasisavinimo sumažėjimas; iš to seka ir kitų komponentų ryškesnis pokytis kaip suminis garavimas – sumažėjimas 28,8% ir potencialus suminis garavimas – sumažėjimas 25,2%. Na ir didžiausias padidėjimo procentas - 25,4% požeminio vandens.

Vertinant pagal vandens kokybę vienus iš išskiriamų komponentų kaip augalų N ir P įsisavinimas ir bendra N išplova; didžiausias pokytis atitinkamai 19,4% ir 11,4% padidėjimas, padidinus mėnesinės temperatūros reikšmės per 8°C. Tai didelis skaičius, bet jis parodo kaip stipriai gali įtakoti būtent vandens kokybę tiriamoje teritorijoje. Kitais temperatūros padidėjimo scenarijų atvejais pokytis ne toks ženklus. Didžiausias pokytis taip pat augalų N ir P įsisaviniame – 6,9% padidėjimas pritaikius tempRCP6.0 scenarijų. Pritaikius tikėtiną tempRCP2.6 scenarijų pokyčiai labai nežymūs, siekia maksimalų 2,1% pokytį.

Mažiausi pokyčiai pritaikius kritulių padidėjimo scenarijų. Ženklesnis pokytis kritRCP8.5 scenarijaus atveju, kai rezervuarų vandens išeiga sumažėja 4,2%.

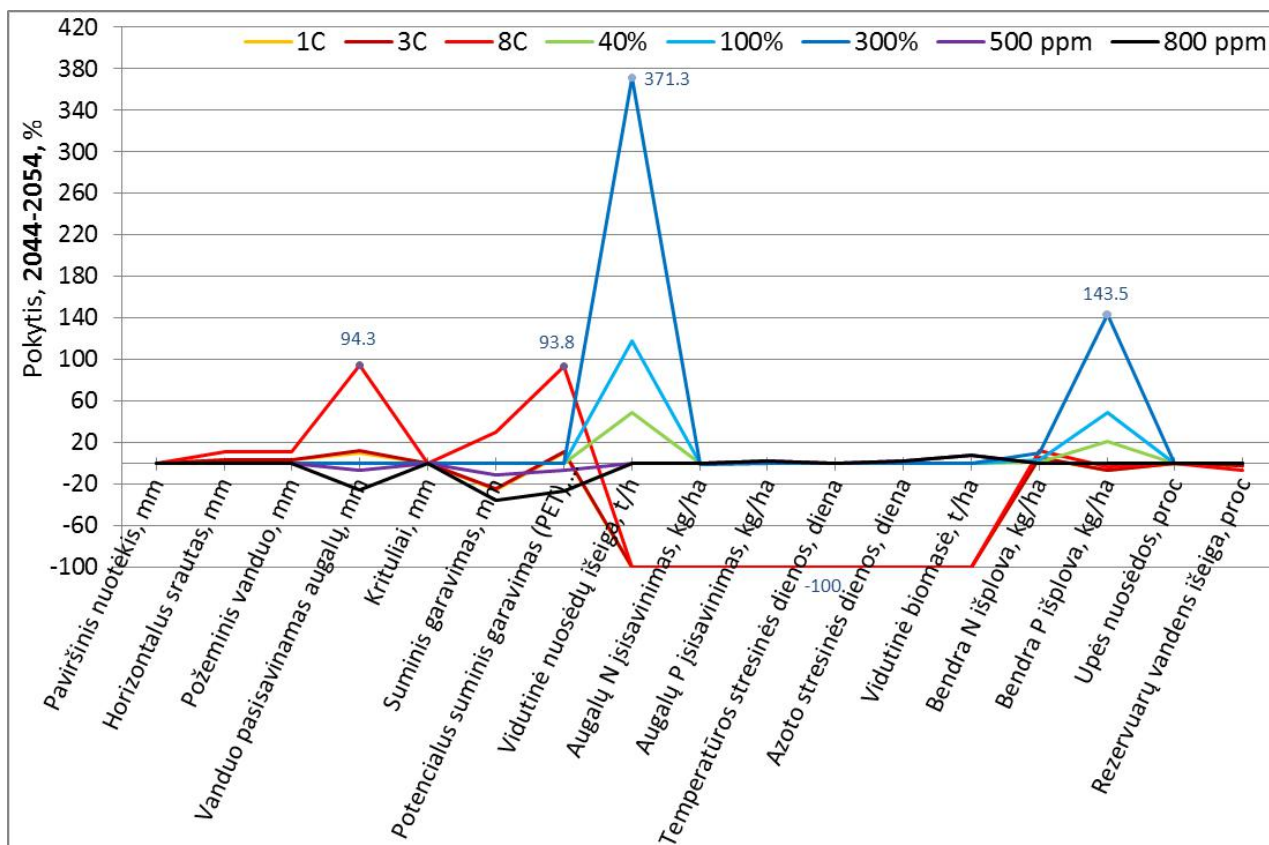
3.3. Prognostinių klimato kaitos scenarijų modelis

Kuriant prognostinius scenarijus, SWAT vykdymo lange neleidžiama pasirinkti vėlesnės periodo laiko datos nei meteorologinių duomenų bazės laikotarpio paskutinės datos įrašo laiko (2014-07-31). Tokiu atveju, reikia grįžti prie Write Input Tables etapo ir aktyvuoti tik meteorologinius generatoriaus duomenis, neįtraukiant išmatuotų meteorologinių duomenų.

Šį kartą pritaikomi tie patys 8 klimato kaitos scenarijai skirtingiems laikotarpiams be išmatuotų meteorologinių duomenų. ArcSWAT sugeneruoja visus meteorologinius duomenis, išskyrus kritulius, kas apsunkina rezultatų vertinimą, kadangi kritulių kiekis lygus 0 visais atvejais ir teigti tam tikras išvadas reikia labai atsargiai. Taip pat paleidžiamas ir pagrindinio laikotarpio 2004-2014 su imituotais meteorologiniais duomenimis. Pasirinkti prognostiniai laikotarpiai:

- 2044-2054 m.,
- 2094-2104 m.

Kaip ir minėta anksčiau adekvačiai vertinti rezultatus sudėtinga, bet tam tikrą įspūdį, kaip keičiasi išvesties rezultatai kiekvieno scenarijaus atveju prognozuojant į ateitį, galima susidaryti. Šiuose modeliuose atspirties taškas yra pagrindinis 2004-2014 m. laikotarpis su imituotais meteorologiniais duomenimis, kurio rezultatai kardinaliai skiriasi nuo pagrindinio laikotarpio su išmatuotais meteorologiniais duomenimis. Detalūs pokyčio rezultatai kiekvienam SWAT komponentui pateikta 4 priede. Išskiriama 17 pagrindinių komponentų, kurių pokytis procentais nuo pagrindinio AD SWAT modelio rezultatų labiausiai išryškėja (žr. 32 ir 33 pav.).



32 pav. Prognostinių klimato kaitos scenarijų modelio rezultatų pokytis 2044-2054 m.

Skirtingai nuo praeito klimato kaitos scenarijaus, kai modelis buvo paleidžiamas su išmatuotais meteorologiniais duomenimis, didžiausi pokyčiai pritaikius kritulių padidėjimo scenarijus analizuojant 2044-2054 m. laikotarpio rezultatus, CO₂ padidėjimo atveju rezultatų pokytis labai nežymus. Lyginant 32 pav. diagramą su 31 pav. esančia diagrama, pastarosios kreivė dinamiškesnė ir mažesnės maksimalios reikšmės.

Didžiausias pokytis vidutinės nuosėdų išeigos ir bendros P išplovos komponentų rezultatuose atitinkamai 373,3% ir 143,5% pritaikius kritRCP8.5 scenarijų.

Ryškesni pokyčiai pritaikius ir tempRCP8.5 scenarijų, kai daugelyje komponentų sumažėjimas arba padidėjimas nuo 94,3 iki 100%. Tokiuose komponentuose, kaip paviršinis nuotėkis, horizontalus srautas, požeminis vanduo ir rezervuarų vandens išeiga, rezultatų pokytis labai nežymus visais scenarijų atvejais.

Prognozuojant dar toliau į ateitį ir įtraukus 2094-2104 m. laikotarpį, ryškiausi pokyčiai pritaikius tuos pačius kritRCP8.5 ir tempRCP8.5 scenarijus, tik čia didžiausios reikšmės beveik trigubai mažesnės (žr. 33 pav.).

33 pav. Prognostinių scenarijų modelio išvesties rezultatų pokytis 2094-2104 m.

Prognostinių scenarijų modelio išvesties rezultatų pokytis 2094-2104

Visų kitų komponentų rezultatų pokytis lyginant su 2044-2054 m. laikotarpiu visais scenarijų atvejais toks pat arba nežymiai pakitęs, išskyrus suminį garavimą tempRCP8.5 scenarijaus atveju,

kai ankstesniame laikotarpyje buvo padidėjimas 30,6%, o 2094-2104 m. Laikotarpyje sumažėjimas 25,9%.

3.4. Diskusija

Lyginant AD SWAT modelio nuotėkio didžiausią reikšmę su kitų šalių laisvai prieinamais SWAT modelio rezultatais (žr. 20 lentelę), galima pastebėti, kad kuo mažesnis nuotėkis baseine, tuo mažesnis skirtumas procentais tarp išmatuotų realių duomenų ir SWAT modelio gautų duomenų.

20 lentelė. Nuotėkių palyginimas skirtinguose SWAT modelių baseinuose

SWAT baseino modelis	Nuotėkis, m ³ /s		Skirtumas, %
	Išmatuoti	SWAT modelio	
AD (LT)	3.61	3.64	+0.8
Galveston Bay (JAV, Teksasas)	497.5	524.5	+5.2
Matagorda Bay (JAV, Teksasas)	161.3	163.8	+1.5

Šiuo atveju, tiek AD, tiek Teksaso valstijoje (JAV) esančiuose Galveston Bay ir Matagorda Bay baseinų SWAT modelio nuotėkis didesnis nei išmatuotų realių duomenų. Galveston Bay baseino 5.2 % nuotėkio skirtumas yra didžiausias iš lyginamų baseinų, nors baseino plotas mažesnis už Matagorda Bay baseiną beveik tris kartus, AD baseinas šimtus kartų mažesnis už pastaruosius, taigi ploto kriterijus vertinant nuotėkio pokytį yra neįtakojantis.

Dar vienas SWAT modelis (2002 m.) buvo vykdomas Teksaso valstijoje, kuriame analizuojami fosforo kiekių išplovos Bosque upės baseine. Teritorija užima 3600 km² [38] ir tai beveik 10 kartų didesnė teritorija už tiriamos AD. Panašaus ploto (4800 km²), Poteau upės baseino (Oklahoma ir Vakarų Arkanzasas), SWAT modelio studija buvo vykdoma 2001 m. tiriant tos pačios medžiagos P metinius išleidimo kiekius [39].

21 lentelė. Metiniai fosforo kiekiai skirtinguose SWAT modelių baseinuose

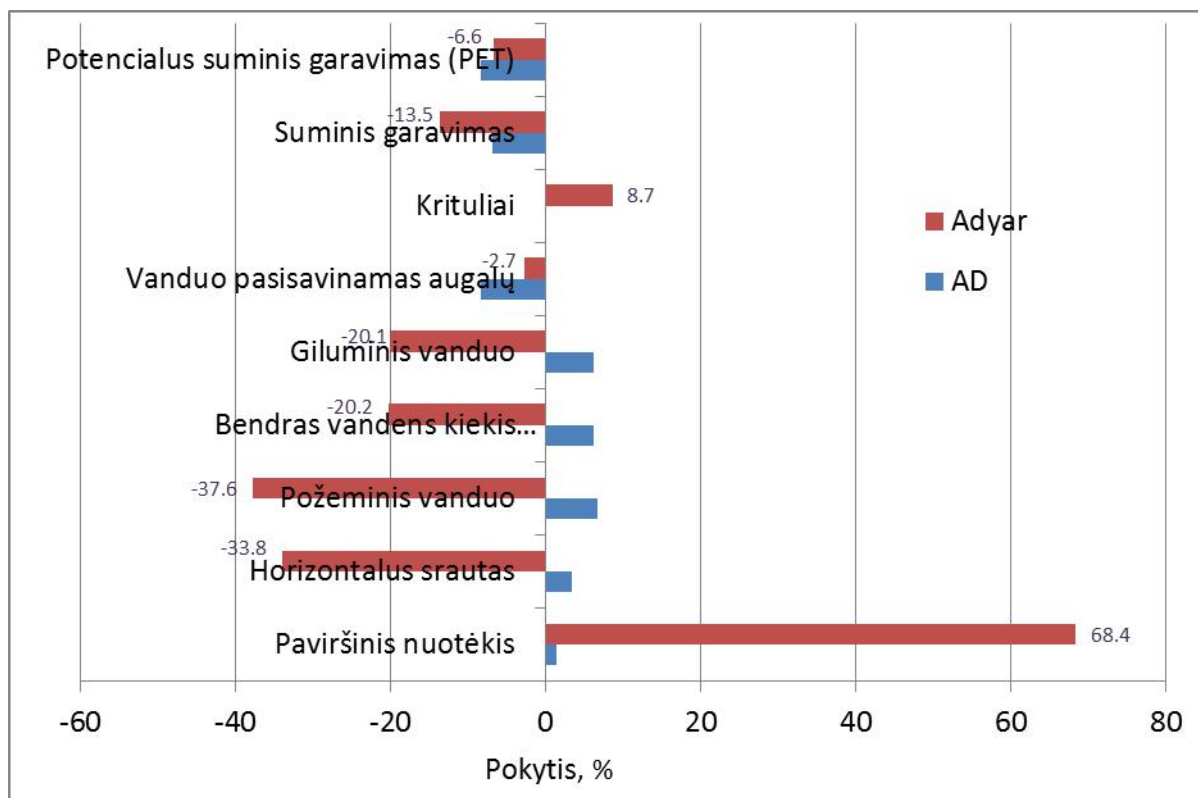
SWAT modelis, žemupys	Metinis P kiekis, kg
AD, žemiau Kretingos (LT)	5600
Bosque river at Valley Mills, (JAV, Teksasas)	63000
The Poteau River at Cauthron (JAV, Oklahoma ir Vakarų Arkanzasas)	25000

Palyginus fosforo išleidimo kiekius ties žemiausia baseino vieta matome, kad fosforo kiekiai Bosque ir Poteau SWAT modeliuose skiriasi apytikriai 5 ir 10 kartų nuo AD SWAT modelio. Tai tam tikra proporcija upės baseino teritorijos plotui.

Vienas iš klimato kaitos scenarijų A1B (IPCC), kurį galima sugretinti su CO₂RCP4.5 AD SWAT modelio scenarijumi, buvo skaičiuojamas Adyar upės baseino SWAT modelyje [40]. Tai baseinas esantis Vakarų Indijoje, kurio plotas tik 50km² mažesnis už Akmenos-Danės upės baseino plotą [41] Upės vaga prateka pro Čenajaus uostamiestį (4.3 mln. gyventojų) ir įteka į Bengalijos įlanką. Šiame scenarijuje modeliuojama CO₂ emisijų padidėjimo įtaka SWAT modelio rezultatams: AD - 11 metų laikotarpiui, Adyar – 20 metų.

22 lentelė. CO₂ emisijų scenarijaus AD ir Adyar SWAT modeliuose palyginimas

Komponentas	Dabartinis vandens balansas SWAT modelyje, mm		Scenarijai		Pokytis, %	
	AD	Adyar	CO ₂ RCP4.5	A1B	AD	Adyar
Paviršinis nuotėkis	183.49	484.98	186.33	816.85	1.5	68.4
Horizontalus srautas	7.41	0.65	7.67	0.43	3.5	-33.8
Požeminis vanduo	426.78	75.77	455.32	47.25	6.7	-37.6
Bendras vandens kiekis vandeningajame sluoksnyje	457.95	110.46	486.44	88.16	6.2	-20.2
Giluminis vanduo	22.9	5.52	24.32	4.41	6.2	-20.1
Vanduo pasisavinamas augalų	15.22	36.77	13.96	35.77	-8.3	-2.7
Krituliai	1106.5	1592.5	1106.5	1730.5	0.0	8.7
Suminis garavimas	477.5	996.8	445.2	862.2	-6.8	-13.5
Potencialus suminis garavimas (PET)	761	1914.6	697.9	1788.7	-8.3	-6.6



34 pav. CO₂ emisijų scenarijaus AD ir Adyar SWAT modeliuose palyginimas

Lyginamus upės baseinus skiria 8 tūkst. km. Indijoje aukšta temperatūra laikosi visus metus, kas nepanašu į Lietuvos klimatą, tačiau kritulių kiekis stipriai nesiskiria ir SWAT modelių rezultatai, tiriant hidrologinius procesus, parodo nežymų pokyčio skirtumą tarp tokių komponentų kaip vanduo pasisavinamas augalų ir PET. Adyar SWAT modelio didžiausias pokytis - 68% padidėjimas paviršinio nuotėkio komponente, kai AD - 1.5%. Adyar upės baseino hidrologinių procesų komponentų rezultatuose daugiau sumažėjusios reikšmės, AD – daugiau padidėjusios reikšmės tiriant CO₂ emisijų scenarijų.

3.5. Rekomendacijos ir pasiūlymai kaip gerinti mažų upės baseinų modeliavimo procesą ir modelių kokybę

Sėkmingam SWAT modelio paleidimui svarbu iš anksto suplanuoti kokius parametrus nustatyti kiekviename SWAT modelio kūrimo žingsnyje, kitu atveju sistema gali netinkamai arba visai neapdoroti procesų, tada viena išeičių - programos ar visos operacinės sistemos aplinkos perkrovimas. SWAT procesams įvykdyti gali sutrukdyti ir įrenginio darbinės atminties RAM stygius. Šio projekto kūrimo procese susidurta su minėtomis problemomis ir buvo reikalingas ne vienas perkrovimas norint įvykdyti visus SWAT modelio kūrimo žingsnius.

Taip pat svarbu iš anksto pasiruošti tinkamam baseino ribų, parametrų apibūdinimui pirmuose jos etapuose. Vėlesniuose etapuose, supratęs, kad netinkamai apibrėžtas tam tikras parametras pradinėje stadijoje, grįžus jo redaguoti, nuo to momento išsitrina tolesni įvykdyti procesai ir tenka iš

naujo apibrėžti parametrus sekančiuose etapuose, taip eikvojami laiko resursai, pvz.: jei grįžtama nuo SWAT paleidimo etapo iki baseino apibūdinimo etapo, tada vėl iš naujo reikia reklasifikuoti žemės naudmenų, dirvožemio ir nuolydžio sluoksnius HRU kūrimo etape ir įvesti meteorologinius duomenis etape prieš SWAT paleidimą.

IŠVADOS

1. Tiriamajame darbe AD SWAT modelio sukūrimui panaudoti 6 paruošiamieji sluoksniai: kaukės, DEM, žemės naudmenų, dirvožemio, Lietuvos upių tinklo ir kitų vandens telkinių. Sukurtas tarpinis HRU sluoksnis, kuriame sugeneruota virš 200 HRU kombinacijų. Labiausiai teritorijoje dominuoja HRU kombinacijos sudarytos iš žemės naudmenų tipo pasėlių (ariamos žemės) + miškingos vietovės ir 0-2% esantis nuolydis. Virš 1300 ha plotų sugeneruoti trijose HRU teritorijose netoli Radailių, Vaineikių, Kretingsodžio gyvenviečių.
2. Vertinant modelio rezultatus atsižvelgiama į visus SWAT error checker programoje esančius komponentus. Programa modelyje labiausiai siūlo atkreipti dėmesį į galimus neadekvačius nuosėdų kiekius 28-ame ir 26-ame HRU vienetė; vertinant azoto ir fosforo ciklus, 99,4% NO₃ pašalinama iš dirvožemio profilio, N ir P tik iki 1,5%, neįprastai mažai fosforo stresinių dienų, mažas N tirpumo santykis nuotėkyje, didžiausias išleidimo koeficientas sugeneruojamas Padvarių tvenkinyje kalbant apie bendrą rezervuarų vandens išėigą į AD upę.
3. Sudaryti 8 klimato kaitos scenarijai 11 metų laikotarpiui. Didžiausi virš 30% pokyčiai nustatyti 11-oje komponentų taikant CO₂RCP6.0 – 8.5 klimato kaitos scenarijų. Mažiausi pokyčiai pritaikius kritulių padidėjimo scenarijų. Pritaikius labiausiai tikėtinus klimato kaitos scenarijus, pokyčiai labai nežymūs tiriamoje teritorijoje.
4. Pasirinkti du prognostiniai klimato kaitos scenarijų laikotarpiai. Didžiausi pokyčiai pritaikius kritulių padidėjimo scenarijus, taip pat ryškesnis pokytis ir su tempRCP8.5 scenarijumi. Tai kontrastas pagrindiniam tiriamam laikotarpiui dėl ArcSWAT papildinio kritulių neįtraukimo į modelį.

LITERATŪRA

1. Sennikovs J., Gulbinas Z., Valskys V. 2014. Nemuno, Lielupės, Ventos ir Dauguvos upių baseinų rajonų valdymo planų, priemonių programų ir kitų reikiamų dokumentų vandensaugos tikslams nustatyti parengimas ir atnaujinimas. 2 – oji tarpinė ataskaita. Komisijos ataskaita Europos Parlamentui ir Tarybai dėl Vandens pagrindų direktyvos (2000/60/EB) įgyvendinimo. Upių baseinų valdymo planai (Tekstas svarbus EEE), p. 12-18.
2. SWAT modelio internetinė svetainė [interaktyvus], [žiūrėta 2016 m. spalio 28 d.]. Prieiga per internetą: <<http://swat.tamu.edu/documentation/>>.
3. Nemuno upių baseinų rajono valdymo plano projektas. 2015 [interaktyvus]. Vilnius [žiūrėta 2016 m. spalio 30 d.], 24-318 p. Prieiga per internetą: <<http://gamta.lt/files/2015%2001%2015%20NEMUNO%20UBR1422432226586.pdf>>.
4. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie aplinkos ministerijos [interaktyvus], [žiūrėta 2016 m. lapkričio 5 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.meteo.lt/lt/web/guest/stebejimtinklas/>>.
5. Sennikovs J., Gulbinas Z., Valskys V. 2014. Nemuno, Lielupės, Ventos ir Dauguvos upių baseinų rajonų valdymo planų, priemonių programų ir kitų reikiamų dokumentų vandensaugos tikslams nustatyti parengimas ir atnaujinimas. 3 – oji tarpinė ataskaita. SWAT modelio kalibravimas, p. 90-92.
6. Waidler D., White M., Stegelych E. ir kt. 2009. Conservation practice modelling guide for SWAT and APEX.
7. Čerkasova N., Erturk A., Zemlys P. ir kt. 2016. Curonian lagoon drainage basin modelling and assessment of climate change impact. Elsevier Ltd., Oceanologia, vol. 58, Issue 2, p. 90–102.
8. Winchell M., Srinivisan R., Di Luzio M., Arnold J. 2013. ArcSWAT interface for SWAT2012. User's guide. Blackland research and extension center. Texas Agrlife research, p. 1-400.
9. TCEQ strategic Assessment Division, TMDL team. 2002 [interaktyvus]. An implementation plan for soluble reactive phosphorus in the north Bosque river watershed [žiūrėta 2016 m. lapkričio 5 d.], p. 50-68. Prieiga per internetą: <<https://www.tceq.texas.gov/assets/public/waterquality/tmdl/06bosque/06-bosque-ip.pdf>>.
10. Haraughty S. 2001. Poteau river comprehensive watershed management program [interaktyvus]. Oklahoma conservation commission. Water quality division. Oklahoma City: OK 73103 [žiūrėta 2016 m. lapkričio 6 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.okcc.state.ok.us/WQ/WQ_reports/report054.pdf>.

11. Joy J. 2002. Washington state department of ecology [interaktyvus]. Upper Yakima river basin suspended sediment and organochlorine pesticide total maximum daily load evaluation. Environmental assessment program Olympia, Washington 98504-7710 [žiūrėta 2016 m. lapkričio 5 d.]. Prieiga per internetą:
<<https://fortress.wa.gov/ecy/publications/documents/0203012.pdf>>.
12. Dile Y., Srinivasan R., George C. 2008 [interaktyvus]. QGIS Interface for SWAT (QSWAT) [žiūrėta 2018 m. sausio 3 d.]. Prieiga per internetą:
<http://swat.tamu.edu/media/115806/qswat-manual_v15.pdf>.
13. ESRI ArcGIS programinės įrangos internetinė svetainė [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. sausio 3 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.esri.com/arcgis/about-arcgis>>.
14. Winchell M., Srinivisan R. 2012. ArcSWAT interface for SWAT editor for SWAT 2012. Documentation. Blackland research and extension center. Texas Agrlife research, p. 1.
15. Learn ArcGIS internetinė svetainė. Related concepts [interaktyvus]. Digital Elevation Models [žiūrėta 2017 m. sausio 5 d.]. Prieiga per internetą: <<https://learn.arcgis.com/en/related-concepts/digital-elevation-models.htm>>.
16. Marsh, William M. 2010. Landscape Planning: Environmental Applications (5th ed.). Danvers, MA: John Wiley & Sons, Inc., p. 267–268.
17. Abu-Zreig, Majed, et al. 2003. Phosphorus Removal in Vegetated Filter Strips. Journal of Environmental Quality, vol. 32, no. 2, , p. 613–19.
18. Natural resources conservation service conservation practise standard .1985 [interaktyvus]. Grade stabilization structure [žiūrėta 2017 m. sausio 10 d.], (No.) code 410. NRCS, NHCP. Prieiga per internetą:
<https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs143_026162.pdf>.
19. Natural resources conservation service illinois urban manual practice standard. 1994. Diversion dike [interaktyvus] NRCS IL: code 820 [žiūrėta 2017 m. sausio 10 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.aiswcd.org/wp-content/uploads/2013/06/820-Diversion-Dike.pdf>>.
20. Colin Cameron, A., Windmeijer, Frank A. 1997. An R-squared measure of goodness of fit for some common nonlinear regression models. Journal of Econometrics. 77 (2): 1790–2.
21. Yapo P. O., Gupta H. V., Sorooshian S., 1996. Automatic calibration of conceptual rainfall-runoff models: sensitivity to calibration data. Journal of Hydrology. v181 i1-4, p. 23-48.
22. Coastal research and planning institute. 2010 [interaktyvus]. Characteristics of the Akmena-Danė river basin. Klaipėda: Klaipėda university [žiūrėta 2016 m. lapkričio 5 d.], p. 5. Prieiga per internetą:
<<https://rfl.se/documents/moment/archive/reports/3.2%20Pilot%20area%20descriptions/REP%20ORT%203.2%20Akmena%20Dane%20river.pdf>>.

23. Lietuvos upės internetinė svetainė [interaktyvus]. Versmės. Akmena-Danė. Aprašymas, informacija, vandens turizmo maršrutas, atstumai. Vandens lygis [žiūrėta 2016 m. spalio 20 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.upese.lt/index.php/a/akmena-dane>>.
24. Support ESRI internetinė svetainė [interaktyvus]. Technical Support. GIS Dictionary. [žiūrėta 2017 m. birželio 7 d.]. Prieiga per internetą: <<https://support.esri.com/en/other-resources/gis-dictionary/term/mask>>.
25. Waterbase internetinė svetainė [interaktyvus]. Data. United nations university: UNU-INWEH [žiūrėta 2017 m. birželio 8 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.waterbase.org/download_data.html>.
26. Valiuškevičius G. 2013. Upė. Visuotinė lietuvių enciklopedija, T. XXIV (Tolj – Veni). Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidybos centras, p. 848.
27. Geoportal internetinė svetainė [interaktyvus]. Spatial dataset [žiūrėta 2017 m. rugpjūčio 18 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.geoportal.lt/geoportal/paieska>>.
28. Lietuvos respublikos erdvinių duomenų rinkinio Dirv_DR10LT sluoksniai. Vertinimas ir vietovė. Dirv_DR10LT-1389 2017-08-18 11_39 direktorija: /info/pdf failas/, p. 3.
29. Lietuvos GIS duomenų ESRI shape failai [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. rugpjūčio 19 d.]. Prieiga per internetą: <<http://shapes.openmap.lt/>>.
30. Mažvila J., Lukšienė L., Staugaitis G. ir kt. 2015. Mano ūkis [interaktyvus]. Lietuvos žemių našumas. Nr. 4. Vertinimo atnaujinimas ir nauja metodika [žiūrėta 2017 m. rugpjūčio 20 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.manoukis.lt/mano-ukis-zurnalas/verslas/3553-lietuvos-zemiu-nasumas>>.
31. Global Weather Data for SWAT [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. rugpjūčio 20 d.]. Prieiga per internetą: <<https://globalweather.tamu.edu/>>.
32. Arnold J. G., Kiniry J. R., Srinivisan R. ir kt. 2012. Soil & water assessment tool. Input/Output Documentation: Version 2012. Texas Water Resources Institute, TR-439.
33. Upės. 2008. Enciklopedija, Lietuva, p. 80, Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas.
34. The free dictionary by farlex [interaktyvus]. Temperature stress [žiūrėta 2018 m. sausio 5 d.]. Prieiga per internetą: <<https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Temperature+Stress>>.
35. European Environment Agency [interaktyvus]. Water stress: HelpCenter Definition [žiūrėta 2018 m. sausio 5 d.]. Prieiga per internetą: <<https://www.eea.europa.eu/themes/water/wise-help-centre/glossary-definitions/water-stress>>.
36. Whatcom county extension [interaktyvus]. Compost fundamentals. Washington state university [žiūrėta 2017 m. sausio 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://whatcom.wsu.edu/ag/compost/fundamentals/needs_carbon_nitrogen.htm>.

37. Core Writing Team, Pachauri R. K., Meyer L. 2004. Climate Change 2014: Synthesis Report. IPCC, p. 7-128.
38. Natural resources conservation service Texas [interaktyvus]. Bosque River Watershed - Brazos River Authority. United States Department of Agriculture [žiūrėta 2018 m. vasario 5 d.]. Prieiga per internetą:
<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/tx/water/resources/?cid=nrcs144p2_002815>.
39. Lindsey L. H., Randolph J. C., Carroll J. Updated survey of the fishes of the poteau river, Oklahoma and Arkansas, Faculty of Natural Sciences [interaktyvus]. University of Tulsa [žiūrėta 2017 m. birželio 5 d.], p. 42. Prieiga per internetą:
<<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.562.6074&rep=rep1&type=pdf>>.
40. Kamaraj R., Arunbabu E. 2018. Integrating urban growth predictions and climate change for hydrologic assessment in Chennai basin. India SWAT conference. Centre for water resources, Anna university: Chennai – 25, p. 34-41.
41. Periakali P., Vengopal T., Giridharan L. 2009. Environmental impact assessment and seasonal variation study of the groundwater in the vicinity of River Adyar, Chennai, India. Environmental Monitoring and Assessment, vol. 149 (1-4), p. 81–97.

PRIEDAI

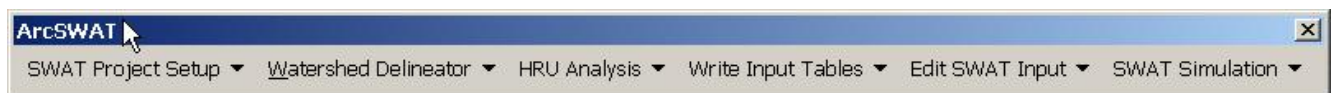
1 priedas

ArcSWAT įrankių juostos iškvietimas ArcMap programoje:

Tools → Extensions kad būtų galima aktyvuoti plėtinius tam, kad suveiktų SWAT modeliavimo procesas. Pažymimi 3 plėtiniai:

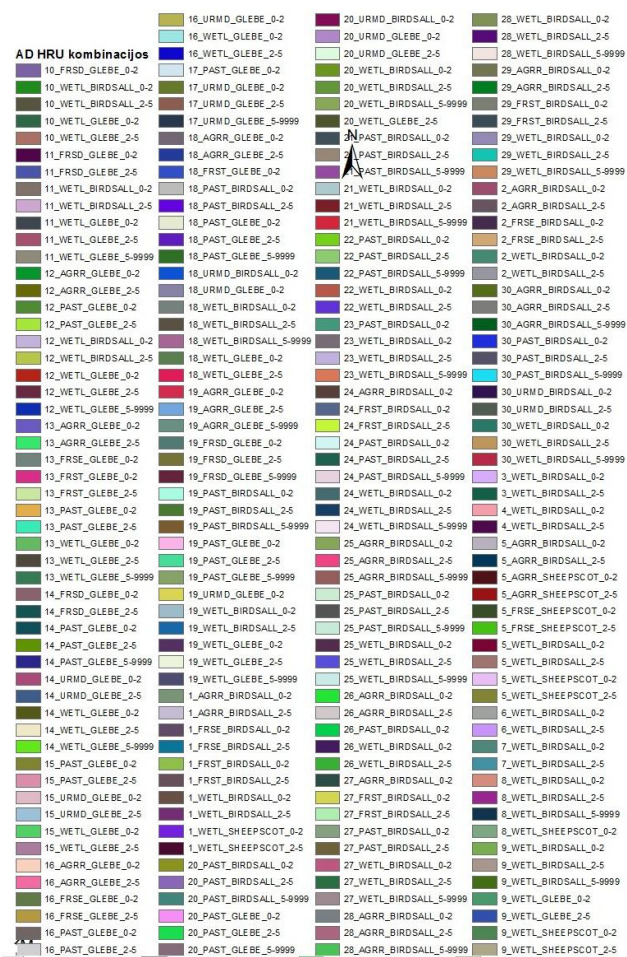
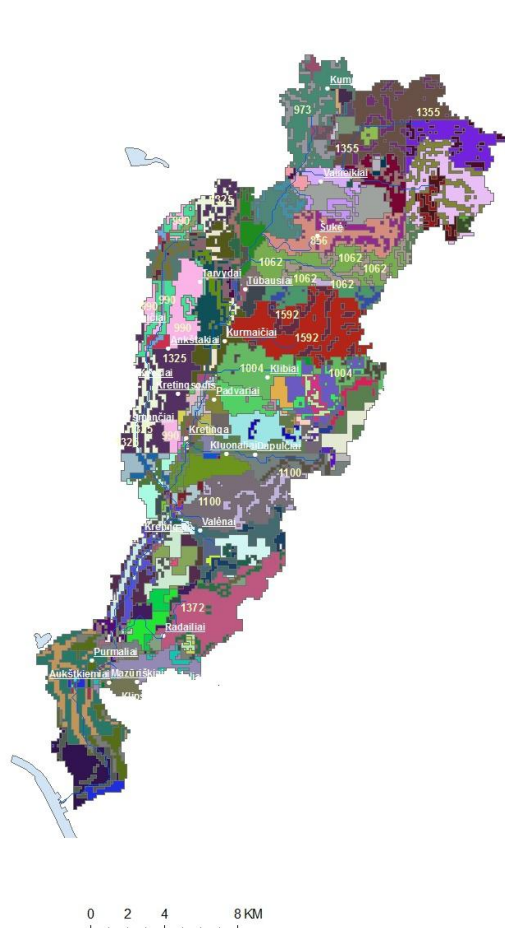
1. Spatial Analyst
2. SWAT Project Manager
3. SWAT Watershed Delineator.

View menu → Toolbars:



35 pav. Arcswat įrankių juosta (ArcSWAT interface for SWAT2012. User's guide [8])

2 priedas



23 lentelė. Scenarijų modelio rezultatų pokytis

Komponentas	2004-2014 su meteorologiniais duomenimis	Temperatūra						Krituliai						CO2 emisija			
		+1°C	Pokytis, %	+3°C	Pokytis, %	+8°C	Pokytis, %	+40%	Pokytis, %	+100%	Pokytis, %	+300%	Pokytis, %	500 ppm	Pokytis, %	800 ppm	Pokytis, %
Paviršinis nuotėkis, mm	183.49	182.84	-0.4	180.19	-1.8	177.18	-3.4	183.47	0.0	183.61	0.1	183.6	0.1	186.33	1.5	192.25	4.8
Horizontalus srautas, mm	7.41	7.42	0.1	7.44	0.4	7.5	1.2	7.41	0.0	7.41	0.0	7.41	0.0	7.67	3.5	8.4	13.4
Požeminis vanduo, mm	426.78	427.32	0.1	429.75	0.7	433.07	1.5	426.68	0.0	426.49	-0.1	426.48	-0.1	455.32	6.7	535.3	25.4
Bendras vandens kiekis vandeningajame sluoksnyje, mm	457.95	458.52	0.1	461.1	0.7	464.6	1.5	457.84	0.0	457.64	-0.1	457.62	-0.1	486.44	6.2	566.32	23.7
Giluminis vanduo, mm	22.9	22.93	0.1	23.05	0.7	23.23	1.4	22.89	0.0	22.88	-0.1	22.88	-0.1	24.32	6.2	28.32	23.7
Vanduo pasisavinamas augalų, mm	15.22	15.22	0.0	15.22	0.0	15.23	0.1	15.22	0.0	15.22	0.0	15.22	0.0	13.96	-8.3	10.48	-31.1
Krituliai, mm	1106.5	1106.5	0.0	1106.5	0.0	1106.5	0.0	1106.5	0.0	1106.5	0.0	1106.5	0.0	1106.5	0.0	1106.5	0.0
Suminis garavimas, mm	477.5	477.5	0.0	477.6	0.0	477.1	-0.1	477.6	0.0	477.7	0.0	477.7	0.0	445.2	-6.8	357.1	-25.2
Potencialus suminis garavimas (PET), mm	761	761.1	0.0	761.2	0.0	761.3	0.0	761	0.0	761	0.0	761	0.0	697.9	-8.3	542.2	-28.8
Bendra nuosėdų išeiga, t/h	0.66	0.66	0.0	0.65	-1.5	0.63	-4.5	0.66	0.0	0.67	1.5	0.67	1.5	0.67	1.5	0.69	4.5
HRU didžiausia nuosėdų išeiga, t/h	41.07	41.15	0.2	40.75	-0.8	39.82	-3.0	41.07	0.0	41.07	0.0	41.07	0.0	41.4	0.8	42.28	2.9
Galutinis NO ₃ dirvožemyje, kg/ha	0.235	0.24	2.1	0.247	5.1	0.268	14.0	0.235	0.0	0.235	0.0	0.235	0.0	0.225	-4.3	0.204	-13.2
Augalų N įsisavinimas, kg/ha	9.965	10.184	2.2	10.654	6.9	11.895	19.4	9.923	-0.4	9.9	-0.7	9.893	-0.7	9.909	-0.6	9.688	-2.8
N mineralizacija, kg/ha	9.027	9.223	2.2	9.668	7.1	10.898	20.7	9.021	-0.1	9.018	-0.1	9.017	-0.1	9.065	0.4	9.141	1.3
Pradinis org N dirvožemyje, kg/ha	12768.871	12768.87	0.0	12768.871	0.0	12768.9	0.0	12768.871	0.0	12768.87	0.0	12768.871	0.0	12768.9	0.0	12769	0.0
Galutinis org N dirvožemyje, kg/ha	12609.188	12607.78	0.0	12604.682	0.0	12594.6	-0.1	12604.706	0.0	12602.65	-0.1	12602.462	-0.1	12607.6	0.0	12604	0.0
Aktyvus N į stabilų, kg/ha	-5.513	-5.646	2.4	-5.943	7.8	-6.757	22.6	-5.52	0.1	-5.523	0.2	-5.524	0.2	-5.548	0.6	-5.622	2.0
Org N mineralizacija, kg/ha	4.392	4.486	2.1	4.676	6.5	5.207	18.6	4.339	-1.2	4.309	-1.9	4.299	-2.1	4.359	-0.8	4.247	-3.3
Galutinis mineralinis P dirvožemyje, kg/ha	2095.318	2095.587	0.0	2096.204	0.0	2097.67	0.1	2095.009	0.0	2094.863	0.0	2094.852	0.0	2095.04	0.0	2094.2	-0.1
Augalų P įsisavinimas, kg/ha	0.798	0.815	2.1	0.852	6.8	0.953	19.4	0.795	-0.4	0.793	-0.6	0.792	-0.8	0.795	-0.4	0.777	-2.6
P mineralizacija, kg/ha	1.545	1.579	2.2	1.655	7.1	1.865	20.7	1.544	-0.1	1.543	-0.1	1.543	-0.1	1.552	0.5	1.564	1.2
Nestabilus P į aktyvų, kg/ha	0.374	0.394	5.3	0.439	17.4	0.573	53.2	0.374	0.0	0.374	0.0	0.374	0.0	0.35	-6.4	0.284	-24.1
Aktyvus P į stabilų, kg/ha	0.326	0.343	5.2	0.383	17.5	0.504	54.6	0.327	0.3	0.328	0.6	0.328	0.6	0.305	-6.4	0.247	-24.2
Pradinis org P dirvožemyje, kg/ha	1564.187	1564.187	0.0	1564.187	0.0	1564.19	0.0	1564.187	0.0	1564.187	0.0	1564.187	0.0	1564.19	0.0	1564.2	0.0
Galutinis org P dirvožemyje, kg/ha	1539.829	1539.545	0.0	1538.928	-0.1	1537.05	-0.2	1539.285	0.0	1539.036	-0.1	1539.014	-0.1	1539.62	0.0	1539.1	0.0

3 Priedo tęsinys

		Temperatūra						Krituliai						CO2 emisija			
	2004-2014 išmatuoti	+1°C	Pokytis, %	+3°C	Pokytis, %	+8°C	Pokytis, %	+40%	Pokytis, %	+100%	Pokytis, %	+300%	Pokytis, %	500ppm	Pokytis, %	800ppm	Pokytis, %
Org P liekana, kg/ha	0.358	0.365	2.0	0.38	6.1	0.424	18.4	0.353	-1.4	0.351	-2.0	0.35	-2.2	0.356	-0.6	0.347	-3.1
Temperatūros stresinės dienos, diena	279.94	279.94	0.0	279.94	0.0	281.18	0.4	279.94	0.0	279.94	0.0	279.94	0.0	279.94	0.0	279.94	0.0
Azoto stresinės dienos, diena	94.04	93.75	-0.3	92.97	-1.1	84.51	-10.1	94.12	0.1	94.16	0.1	94.18	0.1	95.79	1.9	96.97	3.1
Vidutinė biomasė, t/ha	0.3	0.3	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.2	-33.3
Bendra N išplova, kg/ha	4.371	4.407	0.8	4.499	2.9	4.868	11.4	4.372	0.0	4.374	0.1	4.377	0.1	4.459	2.0	4.733	8.3
Bendra P išplova, kg/ha	0.244	0.241	-1.2	0.237	-2.9	0.228	-6.6	0.244	0.0	0.245	0.4	0.245	0.4	0.247	1.2	0.256	4.9
Upės nuosėdos, proc	32.22	32.16	-0.2	31.58	-2.0	29.74	-7.7	32.1	-0.4	31.61	-1.9	31.62	-1.9	25.56	-20.7	7.7	-76.1
Rezervuarų vandens išeiga, proc	47.42	47.47	0.1	47.54	0.3	47.58	0.3	46.19	-2.6	45.43	-4.2	45.2	-4.7	39.75	-16.2	25.31	-46.6

4 priedas

24 lentelė. Prognostinių scenarijų modelio rezultatų pokytis

Komponentas	2004-2014 imituoti meteorologiniai duomenys	2044-2054, pokytis, %								2094-2104, pokytis, %							
		Temperatūra			Krituliai			CO2		Temperatūra			Krituliai			CO2	
		+1°C	+3°C	+8°C	+40%	+100%	+300%	500 ppm	800 ppm	+1°C	+3°C	+8°C	+40%	+100%	+300%	500 ppm	800 ppm
Paviršinis nuotėkis, mm	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Horizontalus srautas, mm	135.18	3.3	3.3	11.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	3.4	3.4	3.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5
Požeminis vanduo, mm	7945.81	3.3	3.5	11.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	3.3	3.5	3.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5
Bendras vandens kiekis vandeningajame sluoksnyje, mm	8369.28	3.2	3.4	11.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	3.3	3.5	3.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5
Giluminis vanduo, mm	418.46	3.2	3.4	11.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	3.3	3.5	3.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5
Vanduo pasisavinamas augalų, mm	2.46	10.2	11.8	94.3	0.0	0.0	0.0	-6.5	-26.0	10.2	11.8	10.2	0.4	0.4	0.0	-6.5	-26.0
Krituliai, mm	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Suminis garavimas, mm	91.4	-25.9	-24.8	30.6	0.0	0.0	0.0	-10.7	-35.3	-25.9	-24.8	-25.9	0.1	0.1	0.0	-10.6	-35.3
Potencialus suminis garavimas (PET), mm	123.2	9.8	11.4	93.8	0.0	0.0	0.0	-6.6	-26.1	9.8	11.4	9.8	0.1	0.1	0.0	-6.6	-26.1
Vidutinė nuosėdų išeiga, t/h	13786	-100.0	-100.0	-100.0	49.2	117.8	371.3	0.1	0.1	-100.0	-100.0	-100.0	49.3	118.0	49.2	0.2	0.2
HRU didžiausia nuosėdų išeiga, t/h	3411.5	2455.2	2455.2	2723.0	49.8	119.1	374.1	-0.1	0.6	2457.8	2457.8	2455.2	49.9	119.3	49.8	0.0	0.6

Galutinis NO ₃ dirvožemyje), kg/ha	0.051	635.3	641.2	766.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	635.3	643.1	635.3	2.0	0.0	0.0	2.0	2.0
Augalų N įsisavinimas, kg/ha	6.486	-100.0	-100.0	-100.0	-0.2	-0.4	-0.6	0.4	0.5	-100.0	-100.0	-100.0	-0.3	-0.5	-0.2	0.2	0.3
N mineralizacija, kg/ha	10.124	5.7	6.4	45.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	5.6	6.3	5.7	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
Galutinis org N dirvožemyje, kg/ha	11690	0.0	-0.1	-0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aktyvus N į stabilę, kg/ha	-6.807	5.8	6.6	48.6	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	5.8	6.6	5.8	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
Org N mineralizacija, kg/ha	0.585	-86.3	-87.2	-100.0	-25.6	-47.9	-77.9	-0.3	-0.3	-86.7	-87.5	-86.3	-24.3	-46.5	-25.6	1.0	1.2
Galutinis mineralinis P dirvožemyje, kg/ha	1919.6	1.2	1.2	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	1.2	1.2	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1
Augalų P įsisavinimas, kg/ha	3.573	-100.0	-100.0	-100.0	-0.1	-0.2	-0.4	2.0	2.8	-100.0	-100.0	-100.0	-0.1	-0.3	-0.1	2.0	2.8
P mineralizacija, kg/ha	1.732	5.7	6.4	45.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	5.7	6.4	5.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Nestabilus P į aktyvų, kg/ha	-10.889	-30.8	-30.7	-29.7	-0.4	-0.8	-1.3	0.8	1.1	-30.8	-30.7	-30.8	-0.3	-0.7	-0.4	0.8	1.1
Aktyvus P į stabilę, kg/ha	-9.107	-30.1	-30.0	-28.3	-0.3	-0.6	-0.9	0.8	1.1	-30.0	-29.8	-30.1	-0.2	-0.5	-0.3	0.9	1.2
Galutinis org P dirvožemyje, kg/ha	1427.1	-0.1	-0.1	-0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Org P liekana, kg/ha	0.29	-85.5	-86.2	-100.0	-25.5	-47.6	-77.6	1.4	2.1	-85.5	-86.6	-85.5	-23.8	-46.2	-25.5	3.1	3.8
Temperatūros stresinės dienos, diena	145.54	-100.0	-100.0	-100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-100.0	-100.0	-100.0	0.4	0.4	0.0	0.4	0.4
Azoto stresinės dienos, diena	139.69	-100.0	-100.0	-100.0	0.1	0.1	0.2	1.8	2.5	-100.0	-100.0	-100.0	0.0	0.0	0.1	1.7	2.4
Vidutinė biomasė, t/ha	1.2	-100.0	-100.0	-100.0	0.0	0.0	0.0	8.3	8.3	-100.0	-100.0	-100.0	0.0	0.0	0.0	8.3	8.3
Bendra N išplovą, kg/ha	78.42	6.2	6.2	12.0	1.7	3.7	9.7	0.0	0.0	6.1	6.2	6.2	1.7	3.7	1.7	0.0	0.0
Bendra P išplovą, kg/ha	20.982	-7.1	-7.1	-3.7	21.0	48.9	143.5	0.2	0.2	-7.1	-7.1	-7.1	21.1	49.0	21.0	0.2	0.3
Upės nuosėdos, proc	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Rezervuarų vandens išėiga, proc	-24.46	-1.7	-2.0	-6.4	-0.2	0.0	0.1	-0.1	-0.1	-1.8	-2.1	-1.7	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2