

Nove knjige - New books

Mišo ANDJELOV, Zlatko MIKULIČ, Björn TETZLAFF, Jože UHAN & Frank WENDLAND, 2016:
Groundwater Recharge in Slovenia - Results of a bilateral German-Slovenian Research Project.

Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Energie & Umwelt, Jülich: 138 p.

http://juser.fz-juelich.de/record/824161/files/Energie_Umwelt_339.pdf

V letu 2016 je Forschungszentrum Jülich GmbH v okviru svoje zbirke "Spisi raziskovalnega centra Jülich", v zvezku št. 339 niza "Energija in okolje" izdal knjigo "Groundwater Recharge in Slovenia - Results of a bilateral German-Slovenian Research Project", katere avtorji so Mišo Andjelov, Zlatko Mikulič in Jože Uhan z Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) ter Björn Tetzlaff in Frank Wendland z Raziskovalnega centra Jülich. Knjiga je monografija, ki predstavlja rezultate meddržavnega nemško-slovenskega raziskovalnega projekta, ki sta ga v letih 2009 do 2016 izvajala ARSO in Inštitut za agrosfero pri Raziskovalnem centru Jülich. Kot sledi iz predgovora, ki sta ga podpisala direktor Inštituta za agrosfero Raziskovalnega centra Jülich prof. dr. Harry Vereecken in generalni direktor ARSO Joško Knez, so na TAIEX (Technical Assistance and Information Exchange) seminarju o modeliranju podzemnih voda, ki sta ga v Ljubljani skupno organizirala Generalni direktorat za širitev Evropske komisije in ARSO, ocenili, da bi bilo model GROWA možno uporabiti za določanje obnavljanja podzemne vode v Sloveniji. Tej oceni sta sledili zasnova in izvedba bilateralnega raziskovalnega projekta. Projekt z delovnim naslovom 'GROWA-Slovenia' je omogočil prenos hidrološkega vodnobilančnega modela GROWA v Slovenijo in njegovo uspešno nadgradnjo v model 'GROWA-SI', adaptiran na slovenske razmere.

Knjiga obsega naslednja poglavja: 1) Uvod, ki podaja ozadja in cilje projekta, območje raziskav – t.j., ozemlje Republike Slovenije – in osnovne hidrološke definicije; 2) Opis modela GROWA, ki podaja razvoj in stanje modeliranja na nacionalnem nivoju – nemškem in slovenskem, izhodišča za izračun realne evapotranspiracije in celotnega odtoka, izhodišča za določanje količinskega obnavljanja podzemne vode in povzetek modelnih značilnosti in vhodnih plasti modela GROWA; 3) Priprava in regionalizacija podatkov, ki ločeno obravnava klimatske podatke, podatke o zemljiškem pokrovu, pedološke podatke, hidrogeološke podatke, topografske podatke in podatke o pretoku površinskih vod; 4) Rezultati modela, kjer so prikazane določitve realne evapotranspi-

In the Volume 339 of the »Scientific papers of Research Centre Jülich - series Energy & Environment« was in the year 2016 published book »Groundwater Recharge in Slovenia – Results of a bilateral German-Slovenian Research Project«, authored by Mišo Andjelov, Zlatko Mikulič and Jože Uhan from the Slovenian Environment Agency (ARSO), as well as Björn Tetzlaff and Frank Wendland from the Research Centre Jülich (FZJ) in Germany. In the monograph are presented results of the bilateral German-Slovenian research project carried out from 2009 to 2016 by ARSO and Agrosphere Institute IBG-3 of FZJ. As it is pointed out in the foreword co-signed by the director of IBG-3 of FZJ Prof. Dr. Harry Vereecken and the general director of ARSO Joško Knez, the potential of GROWA model for modelling groundwater recharge in Slovenia was identified at the TAIEX (Technical Assistance and Information Exchange) groundwater modelling seminar, jointly organized in Ljubljana by the Directorate-General Enlargement of the European Commission and ARSO. As a follow-up to the seminar a bilateral research project was established. The result of the project was a transfer of water balance model GROWA to Slovenia, as well as the upgrade and adaptation of the original model to the GROWA-SI to suit complex Slovenian physio-geography.

The book comprise following nine chapters: 1) *Introduction*, describing project background and project goals, basic information on Slovenian territory, as well as basic hydrological definitions; 2) *Description of the GROWA model*, with short historical overview of hydrological modelling development in Germany and Slovenia, describing the method to derive real evapotranspiration, total runoff and to separate it into direct and groundwater runoff, and giving in the end review of all input layers; 3) *Data preparation and regionalization*, defining input data into model, namely climate data, landcover data, soil data, hydrogeological data, topography data and hydrological data on river discharge; 4) *Model results* where are presented results of real evapotranspiration calculation, total runoff calcula-

racije, celotnega odtoka in prevladujočih komponent celotnega odtoka, t.j., direktnega odtoka in obnavljanja podzemne vode, pri čemer je kot obnavljanje podzemne vode upoštevana za vrednost medtoka (interflow oziroma, v kraških vodonosnikih, groundwater run-off) zmanjšana vrednost podzemnega odtoka; 5) Validacija in verifikacija modela, ki obravnava ločeno celotni odtok ter ločeno obnavljanje podzemne vode in direktni odtok; 6) Posledice ocene obnavljanja podzemne vode za upravljanje z vodami v Sloveniji; 7) Razširjene uporabe modela GROWA-SI v Sloveniji, kjer so prikazani letno poročanje ocene količinskega stanja podzemne vode, načrt upravljanja s povodjem, vodnobilančni podatki za različne EU in svetovne institucije, obnavljanje podzemne vode kot okoljski indikator, obnavljanje podzemne vode pri podatkovno usmerjenem modeliranju ranljivosti podzemne vode za nitrarno onesnaženje, in, na rezultatih modela GROWA osnovano modeliranje dušikovega toka v Sloveniji; 8) Sklepi in obeti; in 9) Reference. Razlage v tekstu so ilustrirane z 68 slikami in podatkovno podprte s 14 tabelami, reference pa obsegajo 179 naslovov.

Pri določanju vodne bilance hidroloških bazenov oziroma povodij se realna evapotranspiracija določa kot odtočni deficit med padavinami in celotnim odtokom. Pristop je zelo natančen za velika povodja, pri manjših povodjih in nepopolnih hidroloških bazenih pa natančnost pada zaradi neugotovljivih dotokov in odtokov podzemne vode vanje ali iz njih. Na osnovi meteorološko določene potencialne evapotranspiracije in njene prevedbe v realno evapotranspiracijo s pomočjo v okviru hidrološkega bazena regionaliziranih parametrov naravnih danosti (topografije, tal, kamninske podlage in vegetacije) ter rabe prostora, izračunamo ob upoštevanju padavin odtok iz hidrološkega bazena. Ta mora ustrezati merjenemu odtoku. Hidrogeološki model postane za hidrološke napovedi uporaben šele potem, ko so za umeritveno obdobje razlike med izračunanimi in izmerjenimi vrednostmi odtoka sprejemljivo majhne.

Za določanje podzemnega odtoka so v uporabi analize hidrogramov in odtočni koeficienti oziroma indeksi, ki določajo podzemni odtok kot delež celotnega odtoka. V sušnih obdobjih napaja pri nizkem vodnem stanju vodotoke le podzemna voda. Zato je za oceno njenega nizkovodnega stanja uporaben indeks baznega odtoka BFI. Zaradi nepopolnosti hidroloških bazenov in s tem povezanega neugotovljivega dotoka ali odtoka podzemnih vod z njihovim zmanjševanjem natančnost

tion, and predominating runoff components, i.e. direct runoff and groundwater recharge separation; 5) *Model validation and verification*, where are separately analyzed total runoff, direct runoff and groundwater recharge; 6) *Water management implications of groundwater recharge assessment in Slovenia*, giving new insights based on GROWA-SI groundwater recharge calculations; 7) *Extended applications of GROWA-SI model in Slovenia* referring to groundwater quantitative status assessment annual report, river basin management plan, water balance data for various EU and global institutions, groundwater recharge as environmental indicator, assessment of climate change impact on groundwater recharge, groundwater recharge in data driven modelling of groundwater vulnerability to nitrate pollution and nitrogen flux modelling in Slovenia based on GROWA-SI results; 8) *Conclusions and outlook*; 9) *Reference*. The descriptions in the text are accompanied by 68 figures, 14 tables and 179 references.

In water balance of hydrological catchments and river basins is real evaporation determined as a deficit between precipitation and total runoff. This approach gives good results for big river basins while in small catchments or river basins with not well defined boundary conditions accuracy is lower due to the unidentified groundwater inflows and outflows. Climatologically determined potential evapotranspiration which is transferred into real evapotranspiration by taking into account regionalized parameters in hydrological basin (topography, soils, bedrock and vegetation cover) as well as land use and precipitation, data enable calculation of runoff from the basin. This runoff should be equal to measured discharge from the river basin. Hydrogeological model is reliable for hydrological forecasts only when for calibration period difference between calculated and measured runoff is acceptable small.

To calculate groundwater runoff is in use hydrograph analysis and defining runoff coefficients or indices that determine groundwater runoff as a fraction of total runoff. In dry period is river flow completely recharged by groundwater. To assess low flow of the river is used baseflow index BFI. Due to the incomplete river basin boundary conditions causing uncertainties in assessment of groundwater inflow and outflow, in small basins the accuracy of water balance is diminished. The results are also affected by groundwater storage in aquifers. Therefore runoff coefficients and indices are susceptible to great variation. Decades

določitev pada. Na izračune vpliva še začasno skladiščenje podzemne vode v vodonosnikih. Odtocni koeficienti oziroma indeksi so zato podvrženi veliki variabilnosti. Habič je zato pri nas pred desetletji z odtocnimi koeficienti ocenjeval variabilnost velikosti prispevnih območij kraških izvirov. Zanesljivi so le odtocni koeficienti oziroma indeksi, izvedeni iz dolgoletnih nizov padavin, celotnega odtoka in podzemnega odtoka.

V knjigi obravnavani model GROWA je numerični hidrološki model, ki parametre naravnih danosti in rabe prostora regionalizira na 100×100 m velike celice, razvrščene v pravokotno mrežo. Zanj je za izbrano obdobje iz potencialne evapotranspiracije izračunava realno evapotranspiracijo in ob upoštevanju padavin in vodne bilance tudi celotni odtok. Celotni odtok iz hidrološkega bazena je vsota celičnih celotnih odtokov. Biti mora enak v vodomerni postaji na iztoku iz obravnavanega hidrološkega bazena izmerjenemu celotnemu odtoku. Vodna bilanca se računa z letnimi povprečji njenih treh v umeritvenem obdobju izmerjenih oziroma določenih bilančnih postavk. Modeliranje je reševanje inverznega problema - vrednost parametrov v celicah je treba popravljati toliko časa, dokler izračunani odtok ni enak izmerjenemu odtoku. Realna evapotranspiracija za hidrološki bazen je s tem pravilno določena, ustrezne pa naj bi bile tudi za posamezne celice določene vrednosti parametrov. Obnavljanje podzemne vode izračunava GROWA iz celične vrednosti celotnega odtoka s pomočjo celične vrednosti indeksa baznega odtoka BFI, regionaliziranega na podlagi naravnih danosti in rabe prostora. Za hidrološki bazen izračunana vrednost obnavljanja podzemne vode je vsota celičnih vrednosti. Tudi tu mora biti za daljše časovno obdobje izračunana vrednost obnavljanja podzemne vode enaka za isto obdobje s pomočjo povprečne vrednosti najmanjših povprečnih dnevnih mesečnih pretokov izračunanemu povprečnemu letnemu pretoku nizkih vod. In podobno kot prej je tako izračunana vrednost obnavljanja podzemne vode točna za hidrološki bazen, predvidoma pa naj bi bile ustrezne tudi njene celične vrednosti. Velika prednost tega modela je, da je zasnovan na GIS osnovi. Zato je možno vse podatkovne plasti zanj pripraviti v GIS okolju, v GIS okolju pa podaja tudi rezultate izračunov. Jasno je, da so tako podani rezultati nadvse primerni za vse javne in institucionalne rabe.

Model GROWA je bil razvit za severnonemška velika povodja s prevladujočo nekonsolidirano kamninsko podlago, ter uspešno razširjen še na celotno površino več severnonemških zveznih

ago Habič used runoff coefficients to assess area of karst spring catchments in Slovenia. Only reliable runoff coefficients are those determined from long time series data of precipitation, total runoff and underground runoff.

Model GROWA described in the book is numerical hydrological model, regionalizing input data into 100×100 m cells in orthogonal mesh. For each cell and chosen time period is calculated real evapotranspiration, and subtracting it from precipitation is calculated total runoff. Total runoff from the basin is a sum of all cell runoffs. Calculated runoff should be equal to the discharge at hydrological station that measures outflow from the river basin. Water balance is calculated from annual means for calibration period of three afore listed water balance components and compared to measured values. Modelling process is an inverse problem solving, i.e. parameter values in the cells are corrected until calculated runoff matches measured runoff. Real evapotranspiration is in this way correctly determined and also other parameter values of the cells are so properly assessed. GROWA calculates groundwater recharge from cell total runoff by applying BFI of the cell which is regionalized taking into account physio-geographical characteristics and land use. Groundwater recharge for entire basin is a sum of all cell values. Calculated groundwater recharge should match measured values of long time series, in this case being multiannual mean of monthly low waters. Thus determined groundwater recharge is accurate for whole river basin as well as giving accurate cell values of recharge. The big advantage of the model is its GIS platform. So, all input parameters are prepared in GIS format, therefore results are also in GIS format, thus being very useful for application in water management.

GROWA model was developed for big river basins with prevailing unconsolidated rocks of northern Germany. Later it was successfully applied to entire territories of several federal states in northern Germany. Upgrading of the GROWA model into GROWA-SI to be used in Slovenian hydrogeological environment of fissured and karst aquifers required adaptation of BFI calculation to take into account Slovenian specific rock types. Mean annual low flow of long term reference period is in GROWA-SI determined from the mean of monthly low flows, calculated by regression analysis taking into account only linear section of the cumulative frequency of low monthly flows. In this way is eliminated interflow component of monthly low flows. It has to

držav. Njegova nadgradnja v za slovenske hidrogeološke razmere primeren model GROWA-SI je zahtevala razpoklinskim in kraškim vodonosnikom primerno spremembo izračuna indeksa baznega odtoka BFI. Povprečni letni pretok nizkih vod za daljše obdobje je v modelu GROWA-SI določen iz povprečne vrednosti najmanjših povprečnih dnevniških mesečnih pretokov, izračunane s pomočjo z diagramom rastočih vrednosti najmanjših povprečnih dnevniških mesečnih pretokov določene regresijske premice. S tem je kompenzirana v teh vodonosnikih povišana vrednost medtoka. Ob tem je treba opozoriti na dejstvo, da 'obnavljanje podzemne vode', ki za hidrološki bazen podaja minimalno letno količinsko stanje podzemne vode ni enako 'podzemnemu odtoku', ki podaja vrednost vse ponikle vode – tudi tiste, ki napaja medtok.

Izvajalci projekta so opravili izredno veliko in zahtevno delo že s pripravo zanj potrebnih podatkovnih osnov. V za model GROWA-SI potrebne podatkovne plasti so morali v zanj ustrezno GIS okolje prevesti podatke vrste institucij (GURS, GeoZS, UL BF CSES in ARSO). Za umerjanje modela so za obdobje 1971-2000 pripravili tudi klimatološke in hidrološke podatke. Nekatere predstavitve in analize se s tem v zvezi pojavljajo prvič: izračun povprečnih letnih, povprečnih polletnih (maj-okt) in povprečnih zimskih (nov-apr) padavin, količnik zimskih in letnih padavin in povprečna letna potencialna evapotranspiracija za obdobje 1971-2000, prikazi podatkov CORINE za Slovenijo v skladu s standardom ATV-DVWK (2002), karta povprečne globine do podzemne vode, karta tal z visečo talno vodo in karta vrednosti parametra IDPR (Development and Persistence of the River Network) za Slovenijo.

Vsebinsko ključni del projekta pa so predstavljali umerjanje, validacija in verifikacija vodonosilnega modela GROWA-SI. Posebna odlika knjige je, da poleg rezultatov modela podaja tudi rezultate njegove verifikacije in validacije. Rezultat modela GROWA-SI so za celotno območje Slovenije in za izbrano umeritveno obdobje kartografsko prikazane določitve realne evapotranspiracije, celotnega odtoka in njegovih obeh za upravljanje voda pomembnih komponent, to je, direktnega odtoka in obnavljanja podzemne vode. Kot obnavljanje podzemne vode je bila pri tem upoštevana za vrednost medtoka (interflow oziroma v kraških vodonosnikih fast groundwater run-off) zmanjšana vrednost podzemnega odtoka.

Verifikacija in validacija modela za določanje celotnega odtoka oziroma realne evapotranspira-

be stressed that »groundwater recharge«, which represents minimum annual groundwater quantity in the hydrological basin is not equal to »underground outflow« which represents all seepage including also interflow.

Already preparation of model input data was a very demanding and challenging task. To prepare input layers of GROWA-SI it was required to transfer all data of several institutions (Surveying and Mapping Authority of Slovenia, Geological Survey of Slovenia, University of Ljubljana Biotechnical Faculty, Ministry of Agriculture Forestry and Food, Slovenian Environment Agency) into form suitable for GIS platform. For calibration purpose, data base of climatology and hydrogeology data for 1971-2000 reference period was established. Some of the graphics and analyses have been done for the first time in Slovenia: summer season (May to October) mean precipitation, winter season (November to April) mean precipitation, ratio between winter and summer precipitation, mean annual real evapotranspiration for 1971-2000 period, CORINE map of Slovenia according to ATV-DVWK (2002) standard, map of mean depth to groundwater table, map of perched groundwater and adapted map of IDPR values (Index of Development and Persistence of the River Network).

The crucial part of the project was calibration, validation and verification of the water balance GROWA-SI model. Special valuable feature of the book is that besides the results of model calculations are presented results of model validation and verification. Result of GROWA-SI model are the maps of Slovenia for the chosen reference period that show real evapotranspiration, total runoff together with both components of it very important in water management: direct runoff and groundwater recharge. Groundwater recharge was taken as underground runoff deducted by interflow (in karst fast groundwater runoff component).

Validation and verification process of the model results for total runoff and real evapotranspiration was carried out for 95 gauging stations and corresponding contributing hydrological catchments distributed in all climate regions of Slovenia. Comparison of GROWA-SI model total runoff results to results of classical water balance model of Slovenia by ARSO for 1971-2000 period with regionalized parameters according to physio-geographical characteristics and land use, published in 2008, and compared for the same river basins and gauging stations showed correlation coefficient $R^2=0.99$. That means, region-

cije sta bili izvedeni s pomočjo po vseh klimatskih območjih Slovenije porazdeljenih 95 vodomernih postaj in tem postajam pripadajočih kontrolnih hidroloških prispevnih območij. Primerjava rezultatov klasično zasnovanega bilančnega izračuna za obdobje 1971 - 2000 in temu primerno regionaliziranih parametrov naravnih danosti in rabe prostora, ki so ga na ARSO opravili in objavili že leta 2008, z modelom GROWA-SI izračunanih vrednosti celotnega odtoka za ista hidrološka prispevna območja vodomernih postaj, ima koeficient determinacije $R^2=0,99$. To pomeni, da je za modelne celice modela GROWA-SI izvedena regionalizacija parametrov obravnavanih hidroloških prispevnih območij enakovredna klasični regionalizaciji teh parametrov; verificirana je torej kot izjemno uspešna. Validacija modela je bila opravljena s primerjavo za kontrolna prispevna območja vodomernih postaj z modelom GROWA-SI izračunanih vrednosti celotnega odtoka in na pripadajočih vodomernih postajah izmerjenih vrednosti tega odtoka. S koeficientom determinacije $R^2=0,93$ je dokazala, da tako določene slike skoraj vseh hidroloških prispevnih območij od popolne korelacije odstopajo za manj kot 25 %. Ob upoštevanju natančnosti določanja padavin in odtoka ter dejstva, da gre za razmeroma majhna hidrološka prispevna območja, je to povsem sprejemljivo. Z naraščanjem na vodomernih postajah merjenega odtoka se deviacija merjenih in računskih rezultatov zelo zmanjša. Nekaj vrednosti, ki to mejo pri razmeroma majhnih vrednostih celotnega odtoka presegajo, pa kaže, da bi bilo v model GROWA-SI med vplive človeka oziroma urbanizacije treba vključiti še vodne zadrževalnike oziroma površinska vodna telesa. Evaporacija s proste vodne površine je namreč bistveno večja od z modelom GROWA-SI za z njeni prekrita območja izračunanih vrednosti realne evapotranspiracije.

Umerjanje modela GROWA-SI za izračun obnavljanja podzemne vode, je bilo izvedeno na 46 umeritvenih hidroloških prispevnih območjih, validacija modela pa na 27 kontrolnih hidroloških prispevnih območjih za ta dva namena izbranih vodomernih postaj. Verifikacija modelnih izračunov je bila v tem primeru uspešno izvedena s primerjavo za 46 umeritvenih hidroloških prispevnih območij z modelom GROWA-SI izračunanih vrednosti obnavljanja podzemne vode in grafoanalitično, s pomočjo regresijske premice, določenih povprečnih vrednosti najmanjših povprečnih dnevnih mesečnih pretokov. V bistvu je bila na tak način preverjena ustreznost za modelne ce-

lizacije of the parameters in GROWA-SI cells matches classical water balance regionalization and has been outstandingly successful. Comparison of total runoff calculated by GROWA-SI for 95 control catchments to the measured discharges showed correlation coefficient $R^2=0.93$, with mean deviation being lower than 25 %. Taking into account uncertainty of precipitation and discharge measurements, and taking into account relatively small catchments area the model results are completely acceptable. Increasing values of measured discharge at gauging stations result in smaller deviation of modelled values from the measured. Some results with high deviation at catchments of small total runoff indicate that GROWA-SI should include impact of water reservoirs i.e. surface water bodies. Namely, evaporation from free water surface is much higher than "real evaporation" calculated by GROWA-SI.

Calibration of GROWA-SI for calculation of groundwater recharge was carried out at 46 calibration hydrological catchments, while validation was carried out at 27 hydrological control catchments. Validation was carried out by comparing GROWA-SI results to monthly lows determined by graph-analytical method of regression curve. Actually, in this way are controlled values of base flow index BFI for model cells. In similar way was carried out verification of the model for control hydrological catchments. Both comparisons were performed also for direct runoff i.e. fast runoff component. Since they were determined as difference between total runoff and groundwater recharge this validation does not offer big added value. For both groundwater recharge and direct runoff is deviation from perfect correlation within 25 %. In the first case is correlation coefficient $R^2=0.94$ and in the second it is $R^2=0.91$. In both cases deviation of calculated values from the measured does not decrease with increasing runoff. The cause could be in values of BFI for karst catchments or imperfect boundary conditions of control hydrological catchments. Unfortunately, there is not a list of 46 calibration and 27 validation control hydrological catchments that could offer opportunity to analyze in more detail this problem. For sure it will be a lot of opportunity to do it in course of future use of GROWA-SI model.

From presented validation and verification of GROWA-SI model it could be concluded, that calculation of groundwater recharge in control hydrological catchments offers satisfactory re-

lice privzetih vrednosti indeksa baznega odtoka BFI. Na podoben način je bila za 27 kontrolnih hidroloških prispevnih območij izvedena še validacija modela. Za oba računski pristopa je zato za ta območja podana primerjava za obnavljanje podzemne vode in za direktni (t.j., hitri) odtok izračunanih vrednosti. V obeh primerih ležijo skoraj vsi računski rezultati znotraj 25 % odstopanja od popolne korelacije. V prvem primeru je skladnost obeh izračunov potrjena s koeficientom determinacije $R^2=0,94$, v drugem primeru pa s koeficientom determinacije $R^2=0,91$. Direktni odtok pa je bil določen kot razlika celotnega odtoka in obnavljanja podzemne vode, zato zadnji koeficient ne ponuja bistveno nove informacije. Ob tem je treba ugotoviti, da deviacija modelnih in računskih rezultatov z naraščanjem pretoka iz hidroloških prispevnih območij tu ne upada. To je lahko posledica za kraška območja privzetih vrednosti indeksa baznega odtoka BFI, ali pa nepopolnosti kontrolnih hidroloških bazenov. Žal v knjigi ni podana tabela s seznamoma 46 umeritvenih in 27 kontrolnih hidroloških prispevnih območij, kar onemogoča tehtnejši razmislek o vzrokih ugotovljene deviacije. Gotovo bo pa za to še dovolj časa pri nadaljnji uporabi modela GROWA-SI.

Na osnovi prikazane verifikacije in validacije modela GROWA-SI lahko ugotovimo, da izračunava model v kontrolnih hidroloških prispevnih območjih za obnavljanje podzemne vode dovolj verodostojne vrednosti. Na tej podlagi je bila lahko njegova uporaba upravičeno razširjena na celotno območje Republike Slovenije.

Sodim, da je pričujoča knjiga kapitalno delo slovenske hidrologije in hidrogeologije. Uporaba in rezultati za GIS okolje razvitega vodnobilančenga modela GROWA-SI jo operativno predstavljajo v 21. stoletje. Določanje količin in stanja podzemnih voda se s tem vrača tja kamor sodi – v okvir določanja vodnih bilanc posameznih hidroloških bazenov oziroma povodij. Vsi, ki smo že na samem začetku pozdravili idejo, da naj se model GROWA nadgradi in adaptira za Slovenijo, smo lahko z doseženimi rezultati več kot zadovoljni. Posebna vrednost modela GROWA-SI je tudi v tem, da omogoča od obstoječe razmejitve podzemnih vodnih teles povsem neodvisno oceno količinskega obnavljanja podzemne vode. Njihova strokovno utemeljena nadaljnja členitev ali preoblikovanje bosta lahko zato takoj podprti z zanje ustrezno oceno obnavljanja podzemne vode. V poglavju o posledicah ocene obnavljanja podzemne vode za upravljanje voda v Sloveniji je na primeru

liable values. Based on these results it could be supposed that the model was rightly applied for entire territory of Slovenia.

I do hold that the book is pioneering breakthrough achievement of Slovenian hydrology and hydrogeology. Use and results of water balance GROWA-SI model developed on GIS platform are operational tools for 21st century. Groundwater quantity assessment is so coming back to its proper place – determination of water balance for hydrological basins and catchments. All of us, who have supported idea of upgrading and adapting of GROWA for Slovenia could be more than satisfied with the achieved results. Great value of GROWA-SI is its feature to calculate groundwater recharge independently of current groundwater bodies delineation. Future groundwater delineation could be immediately supported by qualified assessment of groundwater recharge. In the chapter on water management implications of groundwater recharge assessment was shown use of the model for assessing groundwater recharge per current groundwater bodies, specific groundwater recharge and coefficient of variation of groundwater recharge. In the chapter on extended applications of the GROWA-SI model in Slovenia, it was presented the use of the model results to determine available groundwater, as well as indicating groundwater quantity of critical dry years in 1981-2014 period, assessing groundwater abstraction rate in groundwater bodies, for river basin management plan preparation and in modelling of aquifer vulnerability to nitrate pollution. Some time ago Breznik found out that for some of Slovenian major karst springs are critical two dry years in succession with precipitation below 70 % of multiannual mean. GROWA-SI could be very useful tool to study such exceptional events on groundwater recharge and groundwater quantitative status.

Successful use of GROWA-SI already led to the upgrade to GROWA – DENUZ / WEKU for modelling nitrogen flux. So, in the book are already shown preliminary results of mean total leachate rate that will be used in nitrogen flux modelling. The leachate rate is defined as difference between total runoff and surface runoff i.e. it is sum of groundwater recharge and interflow. To my opinion model GROWA-SI should be for nitrogen flux modelling supplemented with data on clay cover depth at Lower Carniola low karst, as well as depth to groundwater table in high karst region and Alpine karst region of Slovenia. In the

obstojećih teles podzemne vode prikazana uporabnost modela za določanje stopnje obnavljanja podzemne vode, njenega specifičnega obnavljanja in koeficienta variacije njenega obnavljanja. V poglavju o razširjenih uporabah modela GROWA-SI v Sloveniji pa je med drugim prikazana njegova uporabnost za določanje razpoložljive podzemne vode in na primerih za obdobje 1981-2014 uporabnost za določanje za stanje podzemnih vod kritičnih suhih let, določanje stopnje izkoriščenosti podzemne vode v podzemnih telesih, njegova uporabnost pri izdelavi načrtov upravljanja voda in pri modeliranju ranljivosti vodonosnikov na nitrarno onesnaženje. Ob tem je treba opozoriti, da je pred leti Breznik pokazal, da je za minimalne pretoke nekaterih naših največjih kraških izvirov kritično zaporedje dveh sušnih let z manj kot 70% padavin dolgoletnega padavinskega povprečja. Z modelom GROWA-SI bi zato veljalo proučiti tudi vplive takšnih izjemnih dogodkov na obnavljanje in količinsko stanje podzemne vode.

Zaradi njegove uspešnosti se modelu GROWA-SI že obetata nadgradnji z modelom GROWA-DENUZ/WEKU za modeliranje nitratnega toka. S tem v zvezi so že prikazani prvi rezultati izračuna velikostne stopnje izcedne vode. Te predstavljajo razliko med celotnim odtokom in površinskim odtokom; predstavljajo torej vsoto obnavljanja podzemne vode in medtoka. Sodim, da bo s tem v zvezi model GROWA-SI treba dopolniti s podatki o debelini glinasto-meljnatega pokrova dolenskega nizkega krasa in podatki o globini podzemne vode tudi za območja visokega krasa in visokogorskega krasa. S prvimi zato, ker lahko v nekaj metrov debelom pokrovu potekajo denitrifikacijski procesi, z drugimi pa zato, ker v debeli nezasičeni coni vodonosnikov poteka oksidacija v vodi prisotnih dušikovih spojin. Poseben izziv bo predstavljala tudi prenos modela mGROWA v Slovenijo. Ta naj bi omogočil modeliranje vodnobilančnih komponent na dnevni osnovi. Priznam, da sprejemam zaradi omejitev v uporabnosti indeksa baznega odtoka BFI za kratka obdobja to napoved z zadržkom – razen, če ne gre le za napovedovanje dnevnih odstopanj od dolgoletnih povprečij.

first case due to important denitrification process in several meter soil cover, and in the second case due to the oxidation of nitrogen compounds in deep unsaturated zone. Special challenge will be transfer of mGROWA model to Slovenia. It is supposed to enable modelling of water balance components on daily scale. I have to express my skepticism concerning this forecasting due to the limitations of baseflow index BFI use for short time scale – except if it goes for forecasting of daily deviations from multiannual mean.

prof. dr. Miran Veselič

