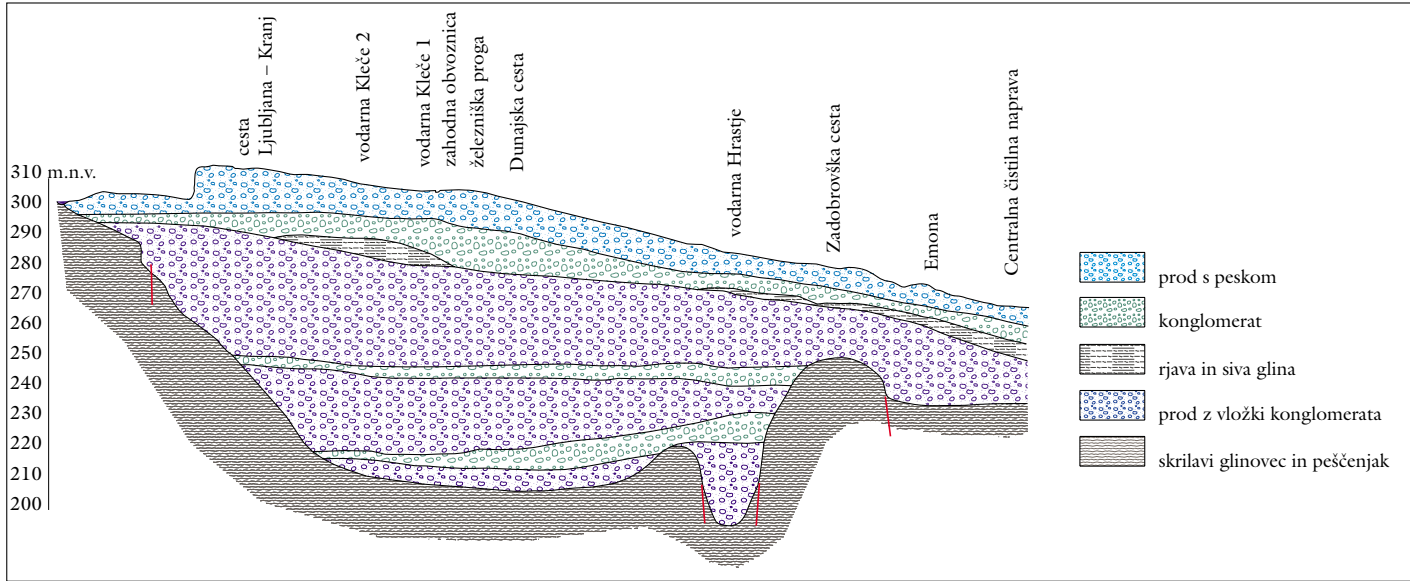


Hidrogeološki profil

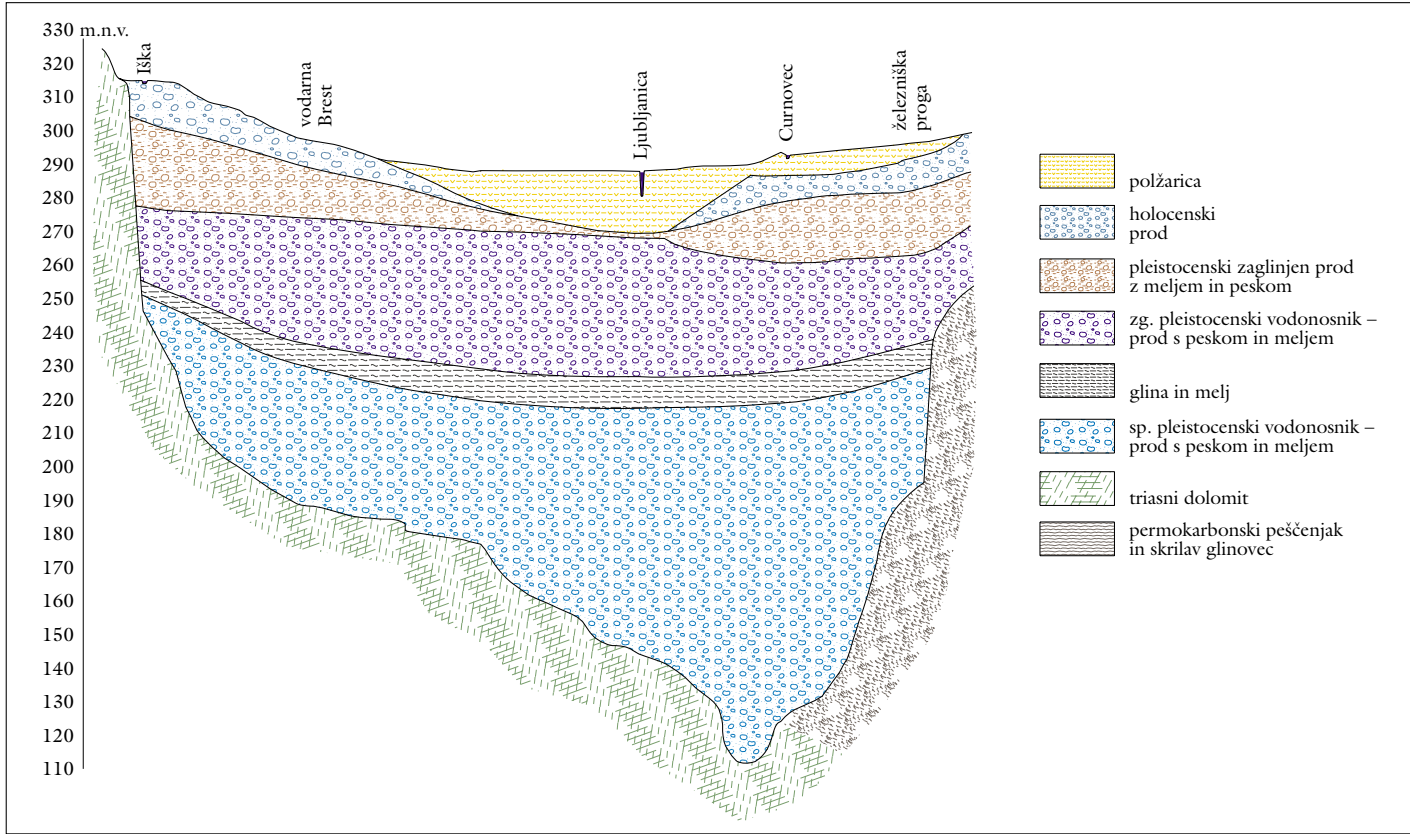
Sava – Medno – vodarna Kleče – vodarna Hrastje – Zadobrova – Centralna čistilna naprava



Vzdolžni hidrogeološki prerez Ljubljanskega polja od Mednega do sotočja rek Save in Ljubljanice Ljubljansko polje je tektonska udorina v obliki skled. Zasuta je z vodonosnimi sedimenti, ki dosežejo tudi 100 m debeline. Udorino je zasipavala reka Sava, ki je v geološki zgodovini večkrat menjala smer toka in s tem oblikovala polje. Neprepustna podlaga iz permokarbonskih skrilavcev in peščenjakov se je začela pogrezati v kvartarju. Spodnji del vodonosnika gradijo pleistocenski prodi in peski, v zgornjem delu pa so holocenski peščno prodni sedimenti. Med peščno prodnimi nanosi polja se v več nivojih nahajajo leče konglomerata. Nad njimi je glina, ki skupaj s konglomeratom predstavlja hidravlično slabo prepusten kompleks in deloma varuje nižje ležeče vodonosne plasti pred onesnaženjem. Hkrati pa konglomerat, v katerem so zaradi kemičnih reakcij, ki so raztopile karbonatne prodnike, nastale kaverne, predstavlja medij, v katerem lahko pričakujemo zelo veliko horizontalno prevodnost. Predpostavka za matematično modeliranje vodonosnika je poenostavitev geološke sestave terena in robnih pogojev. V primeru Ljubljanskega polja je bila vsa litološka pestrost modeliranega območja ujeta v treh osnovnih plasteh.

Hidrogeološki profil

Iška – vodarna Brest – Črna vas – Curnovec



Hidrogeološki profil Ljubljanskega barja Ljubljansko barje je hidrogeološko kompleksen sistem, kjer govorimo o treh med seboj bolj ali manj ločenih vodonosnikih. S prelomi razsekano udorino so v pleistocenu in holocenu zapolnili rečni in jezerski sedimenti. Podlago sedimentom sestavljata na južnem, zahodnem in osrednjem delu zgornjetriasni dolomit in jurski apnenec, na severnem in vzhodnem pa permokarbonski skrilavi glinovec in peščenjak. Podlaga se ponekod nahaja v globini nad 150 m. Skozi prodne plasti se pretaka podtalnica, ki je na precejšnjem delu Barja pod arteškim pritiskom. Značilen sediment Ljubljanskega barja je polžarica. To je lahkognetna siva karbonatno-meljasta glina, ki se je odložila ob odtoku mostiščarskega jezera pred 4000 leti in vsebuje ostanke lupinic polžev. Njena značilnost je satasta zgradba. V svoji prostornini ima tudi do 75 % vode, kar ji skupaj z apnenimi zrnci določa specifične lastnosti in občutljivost na zniževanje pornega tlaka.



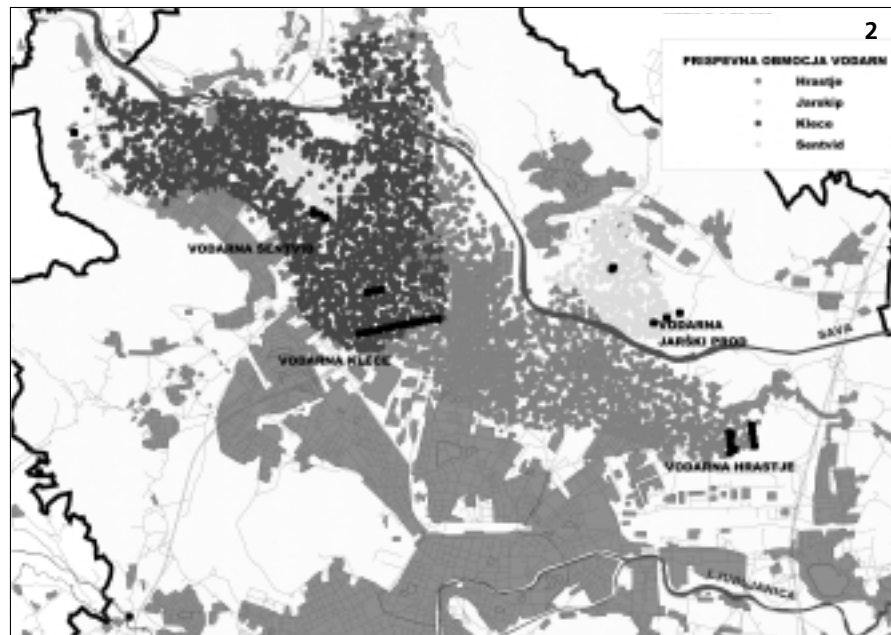
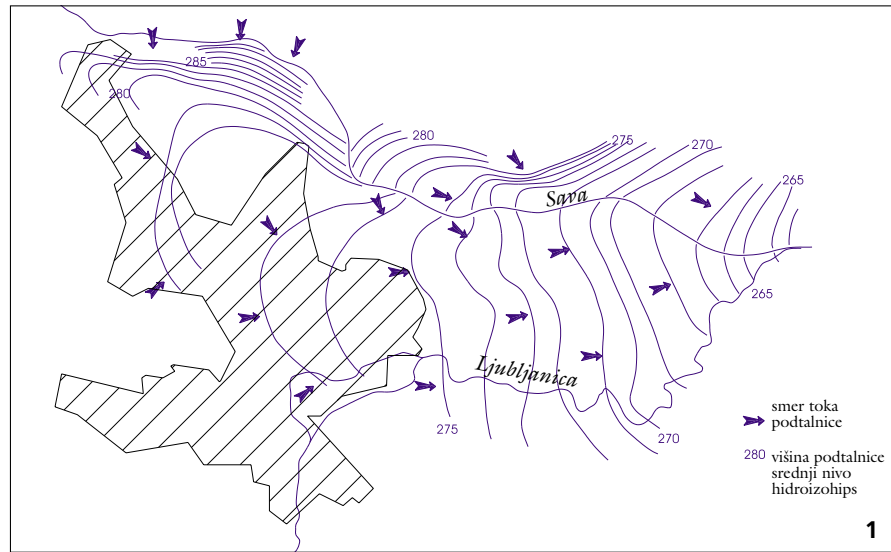
Ali radi pijete vodo iz plastenk? Je prima, a ne? Čisto nekaj drugega kot tisto staromodno pitje izpod pipe. Iz pipe jo sicer lahko natočite v ličen steklen vrč in nato v kozarce – pa kaj bi to, ko pa je plastika tako “kul”. In povrh sploh ne veste, kaj vam dobavlja podjetje Vodovod-Kanalizacija. Pri plastenkah pa je jasno, saj je voda vendar iz tovarne in v tovarnah je vedno vse pod kontrolo. Pa tudi v reklamah vam povedo, da vodo črpajo na vrhu Triglava ali pa iz središča zemlje, kamor še ni seglo človeško onesnaženje. □ Hopla, pa je vse res? Pa je vse res? □ V Ljubljani, na primer, je voda iz istega vodonosnika, le da je tista v plastenkah izpod središča mesta, tista iz pipe pa z obrobja. Kaj pa se dogaja z vodnim virom? Od kod vse priteče voda in kam odteka? Kaj se zgodi, če nekdo na tem področju poseže v prostor z gradnjo ceste ali nove soseke ...? Da bi vse to lahko čim bolje vedeli in določili, smo izdelali matematični model podtalnice. Za njegovo izdelavo je bilo potrebno veliko znanja in truda in sredstev. Kako smo to delali, vam predstavljamo v tej številki VODE. Saj res! Za en liter vode v plastenki dobite približno dva ti-soč litrov vode iz pipe pa še odpadnih plastenk ni. □ Pa na zdravje! □ Anton Kranjc, glavni direktor



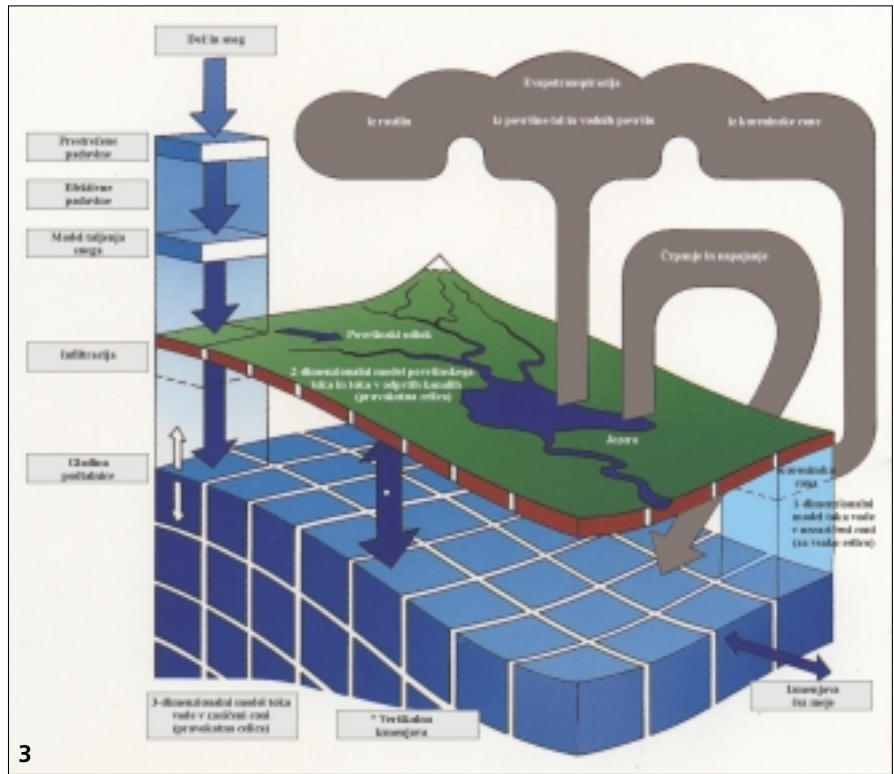
Ljubljanska podtalnica

MATEMATIČNI MODEL PODTALNICE LJUBLJANSKEGA POLJA IN LJUBLJANSKEGA BARJA

Oskrba s pitno vodo predstavlja eno najpomembnejših javnih služb mesta, zdravstvena ustreznost pitne vode in skrb za varno oskrbo z njo pa je ena izmed temeljnih nalog upravljavca sistema. Z namenom, da podkrepimo naše strokovne odločitve na področju izkoriščanja in zaščite vodnih virov na Ljubljanskem polju in barju, smo se že pred nekaj leti kot ene temeljnih nalog s področja upravljanja vodnih virov lotili vzpostavitve matematičnega modela podtalnice. Namen projekta je bil priprava orodja, s pomočjo katerega bomo podkrepili strokovne odločitve pri izkoriščanju in zaščiti vodnih virov.



izvajalca DHI Water&Environment, katerega zgodovina sega v sredino sedemdesetih let, ko so se trije evropski konzorciji odločili za razvoj evropskega hidrološkega sistema. Programsko orodje omogoča povezavo simulacije površinskih in podzemnih voda ter transporta raztopljenih snovi, vključno s kemijskimi in biološkimi procesi. Celotno modelno območje je bilo razdeljeno na dve kategoriji: prva je območje prodnega vodonosnika Ljubljanskega polja in hkrati barjanskih, deloma arteških vodonosnikov, kjer je bil vzpostavljen integriran hidrogeološki model. Drugo kategorijo je predstavljalo širše območje zunaj prve kategorije, kjer je bil na podlagi razpoložljivih podatkov, predvsem o padavinah in pretokih ter nivojih rek, obli-



- 1. Dinamika podtalnice Ljubljanskega polja.** Smer toka podtalnice na Ljubljanskem polju je od severozahoda proti jugovzhodu, od Broda skozi Kleče, Bežigrad, Tomačevo in Jarše. Od tu gre južni krak proti Slapam, Kašlju in Zalogu, severni krak pa skozi Hrastje, Sneberje in Sentač. Hidravlična prevodnost vodonosnih plasti Ljubljanskega polja je zelo dobra, od 10^{-2} m/s v osrednjem delu polja do $3,7 \cdot 10^{-3}$ m/s na obrobju polja in $1-5 \cdot 10^{-4}$ m/s ob vznožju gričevja. Hitrost podtalnice se spreminja in je odvisna od vsakodnevnih hidroloških razmer – padavin in gladine Save – ter znaša od nekaj metrov pa do nekaj deset metrov na dan. Zelo pomembno je prečno napajanje podtalnice vzdolž infiltracijskih območij Brod-Roje ter Tomačevo in Jarše v času visokih gladin Save. Podtalnica je najbolj plitvo pod površjem vzdolž Save, kjer je njen nivo v globini 4–8 m, najgloblje pa na območju pleistocenske terase zahodnega dela Ljubljanskega polja v okolici Sentača, Kleče in Bežigrada, kjer se nahaja v globini 20–30 m.
- 2. Prispevna območja črpališč na Ljubljanskem polju,** to pomeni območja, kjer ležijo z vodo zasičene plasti, iz katerih prideka podzemna voda do črpališč
- 3. Shematski prikaz modeliranja** s programskim orodjem MIKE SHE (povzeto po DHI-Water & Environment)

kovan poenostavljen prikaz, ki pa ohranja vse pomembne lastnosti hidrološkega sistema.

Matematični model podtalnice Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja je danes namenjen reševanju vsakodnevnih problemov pri upravljanju vodnega vira ter oblikovanju dolgoročnih rešitev. Vzpostaviti želimo čim bolj varno strukturo oskrbe z vodo, zato ga uporabljamo pri določevanju primernosti lokacij in načrtovanju kapacitet novih črpališč ter pri oceni razpoložljivih količin ob minimalnih tveganjih onesnaženja. S pomočjo modela pa smo se lotili tudi oblikovanja niza sanacijskih ukrepov za morebitna onesnaženja, ki grozijo kakovosti podtalnice, in za potencialna mesta havarij, ki bi lahko resno ogrozila varno oskrbo s pitno vo-

do. Zavedamo se namreč, da nobeno izmed črpališč Ljubljanskega sistema ni varno pred onesnaženjem.

Med potekom projekta se je izkazalo, da nekaterih podatkov, ki vplivajo na opis hidroloških in hidrogeoloških pojavov ni na razpolago ali pa so pomanjkljivi in zbrani na način, ki ni primeren za našo uporabo. Naše delo bo zato v prihodnje usmerjeno tudi v pridobivanje potrebnih informacij za ustrezne popravke in dopolnitve modela. Iz njegovih rezultatov je namreč razvidno, kateri parametri ter v kakšnem obsegu prispevajo k negotovosti rezultatov.

Dolgoročni načrti za izkoriščanje in izvajanje ukrepov za zaščito vodnih virov so tesno povezani

Pregled pomembnejših vhodnih podatkov projekta

Zbiranje, urejanje in obdelava podatkov ter pridobivanje znanja iz že obstoječih raziskovalnih nalog in projektov so bile naloge prvih faz, ki so bile ključnega pomena za zasnovo koncepta matematičnega modela. Poleg pridobivanja znanj je bila zbrana in obdelana cela vrsta informacij:

- Meteorološki in hidrološki podatki, to so podatki o temperaturi zraka, padavinah, evapotranspiraciji, pretokih in nivojih rek, npr. Save, Ljubljani, Gradaščice, Iške in drugih, so bili pridobljeni iz podatkovnih baz Sektorjev za meteorologijo in hidrologijo Hidrometeorološkega zavoda RS.
 - Pridobljeni so bili prostorsko-urbanistični podatki o rabi prostora ter statistični podatki o vrsti rastlin in njihovih značilnostih, ki prispevajo k vodni bilanci.
 - Zbrani so bili podatki o lastnostih humusnih plasti in lastnostih nezasičenih podzemnih plasti, skozi katere se precejajo padavine, dokler ne dosežejo z vodo zasičene cone.
 - Oblikovana je bila t. i. geološka baza, ki vključuje vse razpoložljive podatke o izdelanih vrtninah na preiskovanem območju. S pomočjo geološkega urejevalnika, ki omogoča interpretacijo litoloških podatkov v 3-dimenzionalnem opisu, je bila pripravljena geometrija površin glavnih geoloških enot s pripadajočimi lastnostmi.
 - JP VO-KA upravlja na Ljubljanskem polju in Ljubljanskem barju nekaj deset merilnih mest nivoja podtalnice, ki zagotavljajo eno izmed ključnih podatkov projekta. V fazi validacije modela so se izračunane vrednosti primerjale z izmerjenimi, kar je predstavljalo eno od meril uspešnosti kalibracije modela.
 - JP VO-KA razpolaga z zgodovinskimi podatki o izkoriščanju podtalnice na Ljubljanskem polju in barju za potrebe javne oskrbe z vodo. Podatki o črpanih količinah podtalnice sestavljajo eno naših najboljšežnejših podatkovnih baz.
 - Kataster vodovodnega in kanalizacijskega sistema, ki ga vzdržujemo, je ključnega pomena za načrtovanje sanacijskih ukrepov za obnovo vodovodnega sistema in preprečevanje interakcije podtalnice z odpadno vodo.
 - JP VO-KA upravlja kataster industrijskih onesnaževalcev za območje, pokrito s kanalizacijskim omrežjem, ki predstavlja potencialne točke onesnaženja, za katere je potrebno narediti analizo nevarnosti širjenja onesnaženj.
- Zbrane informacije in podatki so bili vključeni v numerični model, kot zahteva programsko orodje MIKE SHE. Kalibriranje modela je zagotovilo, da so rezultati modela zanesljivi in skladni z izmerjenimi referenčnimi vrednostmi. Sprejemljiv odklon simulacij od izmerjenih podatkov je bil določen glede na kakovost podatkov in njihovo gostoto. S pomočjo vzpostavljenega modela je bilo že v fazi projekta izvedenih več scenarijev z uporabo hidrodinamičnega in transportnega modula.

z razvojem urbaniziranih predelov mesta, komunalnim urejanjem, infrastrukturo, industrijo in splošno rabo prostora. Aktivnosti, ki jih izvajamo, predstavljajo postopne korake k novelaciji varstvenih pasov virov pitne vode na Ljubljanskem polju in Ljubljanskem barju. Ta novelacija bo ena naših prednostnih nalog v prihodnjih letih. Usklajevanje interesov pri oblikovanju varstvenih pasov pa je zahteven postopek, v katerem morajo sodelovati tako predstavniki mestne in državne uprave ter strokovnjaki s področja upravljanja voda kot tudi vsi uporabniki prostora na varstvenih pasovih. Vzpostavljeni matematični model podtalnice postaja nepogrešljivo orodje, brez katerega upravljanje vodnega vira v prihodnje ne bo več predstavljivo.