

Vodosprema spiralnog tlocrta

Blaženko Premužić

Ključne riječi

vodoopskrba,
vodosprema Doljan,
regionalni vodovod
Varaždin,
Arhimedova spirala,
jednoliko strujanje vode,
miješanje vode

Key words

water tower,
Doljan Water Tower,
Regional Varaždin
Water-Supply Scheme,
Archimedean spiral,
uniform water flow,
water mixing

Mots clés

château d'eau,
château d'eau de Doljan,
conduite d'eau
régional de Varaždin,
spirale d'Archimède,
écoulement uniforme d'eau,
malaxage d'eau

Ключевые слова

водоснабжение,
водоприёмник Доляян,
Региональный
водопровод Вараждин,
Архимедовая спираль,
равномерное течение воды,
смешивание воды

Schlüsselworte

Wasserversorgung,
Wasserbehälter Doljan,
Regionalwasserwerk
Varaždin,
Archimedische Spirale,
gleichmässige
Wasserströmung,
Wassermischung

B. Premužić

Stručni rad

Vodosprema spiralnog tlocrta

Opisana je vodosprema Doljan koja je središnja građevina za akumuliranje vode i osnovni nivelator tlaka u vodoopskrbnom sustavu Regionalnog vodovoda Varaždin. U vodospremu cjevovodima se doprema voda različite kakvoće, crpljena iz tri vodocrpilišta. Opisana su osnovna načela oblikovanja vodospreme primijenjena pri projektiranju. Odabran je tlocrt u obliku Arhimedove spirale, kako bi se omogućilo jednoliko strujanje i miješanje vode i postigao najpovoljniji hidraulički oblik.

B. Premužić

Professional paper

Water storage tower of spiral plan

The Doljan Watertower, which is the central water storage facility and the basic pressure regulator in the water system of the Regional Varaždin Water-Supply Scheme, is presented. Water of variable quality is supplied to the water tower from three water plants. Basic water tower shaping principles as used during the tower design are presented. The plan in form of an Archimedean spiral was selected, so as to enable uniform flow and water mixing, and to obtain the most favourable hydraulic shape.

B. Premužić

Ouvrage professionnel

Château d'eau du plan spiral

Le château d'eau de Doljan est une structure centrale d'accumulation d'eau et un régulateur de pression principal dans le système régional d'alimentation en eau de la ville de Varaždin. L'eau de qualité variable, pompée de trois zones de captage des eaux, est amenée jusqu'au château d'eau par conduites d'eau diverses. Les principes de base utilisés au cours des études pour le modelage du château d'eau sont décrits. Le plan en forme de la spirale d'Archimède a été choisi puisqu'il permet l'écoulement uniforme et le malaxage d'eau, en présentant en même temps les effets hydrauliques les plus favorables.

Б. Премуџич

Отраслевая работа

Водоприёмник спирального плана

В работе описан водоприёмник спирального плана Доляян, являющийся центральным сооружением для аккумуляции воды и основной нивелятор давления в системе водоснабжения Регионального водопровода Вараждин. В водоприёмник доставляется вода разного качества, откачиваемая из трёх водных захватов. Описаны основные принципы формирования водоприёмника, применённых при проектировании. Выбран план в форме Архимедовой спирали, с целью обеспечить возможность равномерного течения и смешивания воды и достижения самого подходящего гидравлического облика.

B. Premužić

Fachbericht

Wasserbehälter mit Spiralgrundriss

Beschrieben ist der Wasserbehälter Doljan, das Zentralbauwerk für Wasserspeicherung und der Hauptdruckausgleicher im Wasserversorgungssystem des Regionalwasserwerks Varaždin. In den Wasserbehälter wird durch Rohrleitungen Wasser unterschiedlicher Qualität angeliefert, geschöpft aus drei Schöpfstellen. Beschrieben sind die Grundprinzipie der Gestaltung des Wasserbehälters die beim Entwurf angewendet waren. Man wählte den Grundriss in Form der Archimedischen Spirale um ein gleichmässiges Strömen und Mischen des Wassers zu ermöglichen und die günstigste hydraulische Form zu erreichen.

Autor: **Blaženko Premužić**, dipl. ing. geot., AT Consult d.o.o. Varaždin

1 Namjena vodospreme Doljan

Vodoopskrba glavnine područja Varaždinske županije (otprilike 70%) riješena je Regionalnim vodovodom Varaždina koji se osniva na resursima podzemne vode dravskog aluvija. Izuzetak je dio područja gradova Ivanca i Lepoglave, te općine Bednja, gdje je vodoopskrba riješena iz Grupnog vodovoda Ivanec, osnovanog na resursima vode iz gorskih izvora na području planina Ivančice i Ravne gore.

Regionalni vodovod Varaždin (slika 1.), kao najznačajniji vodoopskrbni sustav Županije i šire (iz kojega je riješena i vodoopskrba dijela Zagrebačke županije), nastao je postupnim širenjem vodovodne mreže grada Varaždina, ponajprije na sjeverno – nizinsko područje Županije (primarnu vodoopskrbnu zonu). Zatim su izgrađeni i glavni dobavni cjevovodi za zapadno, istočno i južno područje Županije (zapadnu, istočnu i južnu vodoopskrbnu zonu).

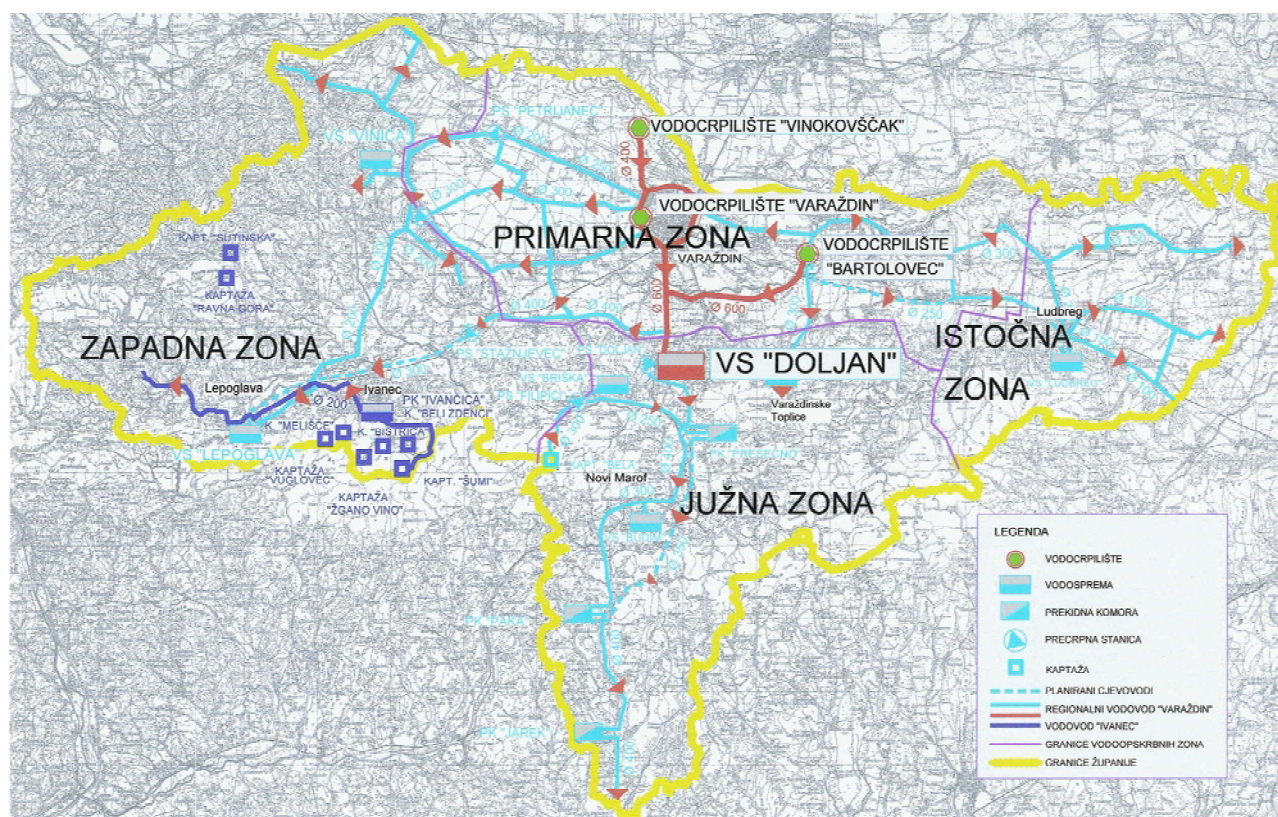
Sirovinska su osnova Regionalnog vodovoda vodocrpilišta Bartolovec, Vinokovščak i Varaždin koja se nalaze u dravskom aluviju bogatom podzemnom vodom. Kvaliteta vode na vodocrpilištima Bartolovec (kapaciteta približno 360 l/s) i Vinokovščak (kapaciteta otprilike 160 l/s) udovoljava svim sanitarno – zdravstvenim krite-

rijima propisanim za pitku vodu, prema vrijedećem Pravilniku (NN 182/04). Na vodocrpilištu Varaždin prisutan je problem povećane koncentracije nitrata u vodi iznad dopuštene granice, zbog čega se ovo vodocrpilište danas iskorištava samo dijelom kapaciteta (otprilike 130 l/s od ukupnog kapaciteta od 450 l/s), i to samo za ispo-maganje, a planira se njegovo postupno napuštanje.

Voda se crpkama smještenim u zdencima vodocrpilišta otprema u vodoopskrbni sustav i u središnju vodospremu Doljan, koja u sustavu funkcionira kao *kontravodosprema*. Ta je vodosprema, osim što predstavlja središnju građevinu za prihvatanje vode i nivelator tlaka u vodoopskrbnom sustavu primarne zone Regionalnog vodovoda, te inicijalna građevina za transport vode na periferna područja Županije (južnu i zapadnu vodoopskrbnu zonu).

Na lokaciji iznad naselja Doljan (oko 6 km južno od grada Varaždina) 2002. godine izgrađena je jedna baterija vodospreme Doljan (I. faza). Sastoji se od dvije cilindrične vodne komore ukupnoga korisnog obujma 5.000 m³, s kotom gornje vode 227,00 m n.m., i osnovni je vodospremnički prostor Regionalnog vodovoda Varaždin.

Izgradnji druge baterije vodospreme Doljan (II. faza) prišlo se zbog povećanja pogonske sigurnosti, stvaranja potrebnih zaliha vode za pokrivanje vršnih potrošnji u



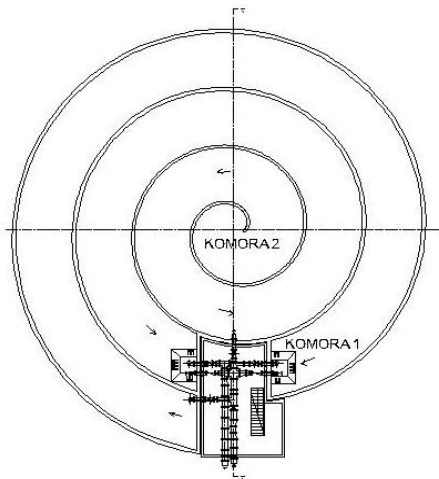
Slika 1. Pregledna situacija Regionalnog vodovoda Varaždin

vodoopskrbi i protupožarnu zaštitu, te uštedu energije (punjenje vodospreme noću kada je električna energija jeftinija). Prema Vodoopskrbnom planu Varaždinske županije, do kraja planskog razdoblja (2025.) predviđeno je na lokaciji Doljan izgraditi ukupno tri baterije vodospreme, korisnog obujma $3 \times 5.000 = 15.000 \text{ m}^3$.

2 Osnovni principi oblikovanja

Vodosprema Doljan – II. faza locirana je sedamdesetak metara sjeveroistočno od postojeće (I. faza), s istovjetnom kotom gornje vode od 227,00 m n.m. (princip spojenih posuda). Priklučenje na vodoopskrbni sustav izvedeno je dovodno-odvodnim cjevovodom profila DN 600 mm.

Zbog toga što se u vodospremu doprema voda različite kvalitete, pri projektiranju se težilo postići hidraulički što povoljniji tlocrt radi boljeg miješanja vode, pa je kao najpovoljniji odabran oblik Arhimedove spirale (slika 2.).



Slika 2. Horizontalni presjek vodospreme

Vodne komore vodospreme sa zidovima u obliku ove krivulje imaju hidraulički povoljan oblik koji omogućuje jednoliko strujanje i miješanje vode bez «mrtvih zona». Tehničko-ekonomske prednosti jednostavnoga statičkog oblika i malog opterećenja temeljnog tla od težine relativno tankih spiralnih zidova, glavni su razlozi primjene takvog oblika vodosprema za pitku vodu, što dokazuju i brojne uspješno izvedene građevine.

Prva vodosprema sa zidovima vodnih komora u obliku Arhimedove spirale (korisnog obujma 4.200 m^3) izgrađena je 1966. godine u Eisenstadtu u Austriji, prema patentu inženjera Schmidta. Za izvedbu spiralnih zidova on se, radi ušteda na oplati i opremi, koristio tehnologijom prskanog betona (torkreta). Do kraja prošlog stoljeća ovom tehnologijom u Austriji i Njemačkoj izgrađeno je otprilike 160 takvih vodosprema, s rasponom korisnog obujma od 500 – 15.000 m^3 . Licenciju za izgradnju

spiralnih vodosprema tehnologijom prskanog betona otkupila je jedna zapadnonjemačka građevinska tvrtka koja više ne postoji, tako da ovaj način gradnje nije postao raširen.

3 Oblik i karakteristike građevine

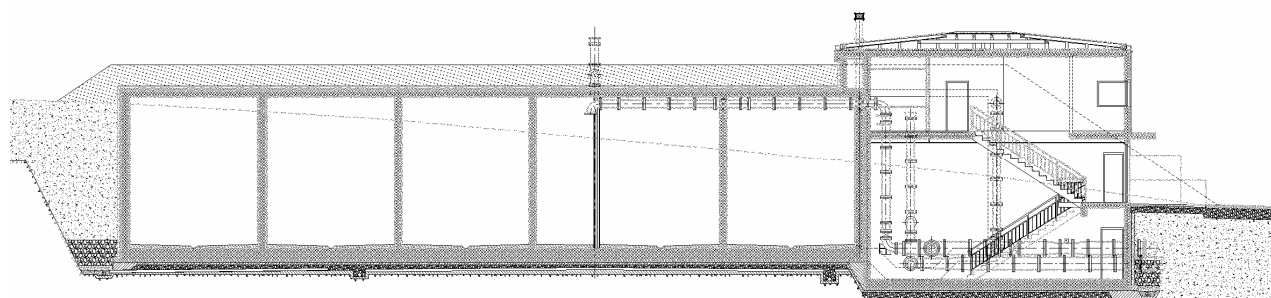
Vodosprema Doljan – II. faza projektirana je i izgrađena sa spiralnim zidovima vodnih komora, visine 6,0 m, ali ne tehnologijom prskanog betona, već kao monolitna armiranobetonska konstrukcija (slika 3.). Zbog pogonske sigurnosti podijeljena je na dvije neovisne vodne komore korisnog obujma $2 \times 2.500 \text{ m}^3$, funkcijski povezane troetažnom zatvaračnicom. Tlocrtna je neto ploština obje vodne komore 962 m^2 , vanjskih tlocrtnih dimenzija $39,5 \times 37,3 \text{ m}$. Maksimalna je visina vode u komorama (pri punoj vodospremi) 5,2 m.

Zatvaračnica s pomoćnim prostorijama izvedena je kao aneks i pravokutnog je tlocrtnog oblika (jedino je zid uz vodnu komoru ovalni), dimenzija $9,4 \times 11,5 \text{ m}$; od vodnih je komora dilatirana slojem tvrdog polistirena debljine 5 cm. U podrumskom dijelu zatvaračnice (na koti – 3,00) smješteni su dovodno-odvodni i ispusno-preljevni cjevovodi s pripadnim armaturama i mjerno-kontrolnom opremom. Neto ploština podrumskog dijela jest $63,3 \text{ m}^2$. Ulaz u zatvaračnicu (na koti $\pm 0,00$) na razini prizemlja je sa sjeverozapadnog pročelja, gdje su ulazna i servisna vrata. U prizemlju se nalazi podest za stubišta koja vode u podrum i na kat, garderoba, sanitarni čvor i spremište, ukupne neto ploštine $19,0 \text{ m}^2$. Na katu je (kota + 2,80) uz vodne komore kontrolna galerija, neto ploštine $19,6 \text{ m}^2$, iz koje je s pomoću ljestava omogućen ulaz u njih. Uz galeriju se nalazi još i soba za sastanke s pomoćnim i sanitarnim prostorijama ukupne neto ploštine $37,7 \text{ m}^2$.

Vodosprema je temeljena na armiranobetonskoj ploči debljine 50 cm, modeliranoj kao krutoj ploči na elastičnoj podlozi (Winklerov model tla). Temeljenje je izvedeno u laporovitoj glini, bez podzemne vode. Pokosi građevne jame su tijekom izvođenja radova zaštićeni prskanim betonom i armaturnom mrežom.

Za odvodnju procjednih voda ispod temeljne ploče izvedena je drenaža koja se sastoji od dva cijevna prstena profila DN 150 mm. Unutarnji prsten je promjera 18,0 m, a vanjski prati oblik vanjskoga spiralnoga zida i promjera je od 38,7 do 41,0 m. Na prstenaste se cjevovode radijalno spajaju drenažne cijevi profila DN 100 mm. Drenažne su cijevi položene na betonsku podlogu u padu i zasipane granuliranim šljunčanim materijalom. Spoj drenaže izveden je na ispusno-preljevni cjevovod vodospreme.

Podna ploča vodospreme betonirana je na prethodno izvedenom sloju hidroizolacije zaštićene betonom deblji-



Slika 3. Vertikalni presjek vodospreme

ne 5 cm. Na kontaktu podne ploče i obodnih zidova ugrađena je gumena dilatacijska traka radi osiguranja vodonepropusnosti radne reške. Na dnu obje vodne komore je sloj betona u padu od 2% prema središnjoj kineti širine 30 cm, čime je omogućeno njihovo potpuno pražnjenje.

Obodni je zid vanjske vodne komore i pregradni zid između vanjske i unutarnje vodne komore debljine 35 cm, dok su spiralni zidovi unutarnje vodne komore debljine 25 cm. Zidovi su betonirani u dvostranoj kružnoj oplati tipa Doka H-20, u segmentima duljine od 2,5 do 12,5 m, ovisno o veličini polumjera zakrivljenosti. Na mjestu vertikalnih radnih reški zidova vodnih komora također je ugrađena gumena dilatacijska traka i metalna traka od vučenog metala, kako bi se osigurala vodonepropusnost spoja.

Pokrovna je ploča vodnih komora debljine 25 cm, u stropnoj oplati.

Kao što je već navedeno, zatvaračnica je radi mogućeg diferencijalnog slijeganja temeljnog tla izgrađena kao neovisno dilatirana cjelina odvojena od vodnih komora. Armiranobetonska temeljna ploča zatvaračnice je debljine 35 cm, a obodni zidovi 20 cm. Pokrovna i međukatna armiranobetonska ploča debljine su 20 cm.

Svi armiranobetonski elementi građevine betonirani su u glatkoj oplati, tako da nije potrebno njihovo naknadno žbukanje. Sav ugrađeni beton za nosivu konstrukciju je razreda čvrstoće C25/30, vodopropusnosti V-6. Hidroizolacija podne ploče, vanjskih zidova i pokrovne ploče vodospreme izvedena je polimerbitumenskim trakama po principu 3+2.

Dimenzioniranje armiranobetonske konstrukcije vodospreme provedeno je izradom prostornoga numeričkog modela i statičkim proračunom za predviđeno opterećenje. Proračun je proveden elektroničkim računalom, metodom konačnih elemenata, uporabom programskog paketa Tower 5.4.

Pregradni zidovi pomoćnih prostorija u sklopu zatvaračnice zidani su sačastom blok opekom debljine 10 cm i ožbukani grubom i finom žbukom.

Podovi, zidovi i stropovi vodnih komora s unutarnje su strane zaštićeni vodonepropusnim epoksidnim premazom atestiranim za pitku vodu.

Površine unutarnjih zidova i stropova zatvaračnice, stubišta, galerije te ostalih prostorija završno su obrađene silikatnim i disperzivnim bojama.

U građevinu je ugrađena aluminijska stolarija s termoizolacijom.

Pročelja zatvaračnice izvedena su termofasadom *Demit*, od sloja polistirena debljine 5 cm i završno obrađena dekorativnom mozaik žbukom.

Krov zatvaračnice je četverostrešna, drvena konstrukcija koja se sastoji od greda i rogova, podaščana i pokrivena bakrenim limom. Zbog sprječavanja kondenzacije vode na stropnoj ploči galerije zatvaračnice, cijela površina tavana pokrivena je slojem mineralne vune debljine 10 cm.

Radi ventilacije vodnih komora na stropnoj ploči je ugrađeno pet cijevnih odzračnika (profila DN 200 mm), te dva takva odzračnika za prirodnu ventilaciju zatvaračnice i kontrolne galerije.

Vodosprema je poluukopana građevina sa zemljanim nasipom iznad pokrovne ploče u debljini 80 cm, a oko obodnih zidova u nagibu pokosa 1:1,5. Nasip je završno obložen humusom i ozelenjen travom. Na sjeverozapadnome su pročelju za podupiranje zemljanog nasipa izgrađena dva gabionska potporna zida visine 2,0 i 5,0 m.

Oko obje vodospreme (I. i II. baterije) uređeno je ograđeno dvorište s asfaltiranim pristupom i parkiralištima za osobna i servisna vozila.

4 Instalacije i mjerno-upravljačka oprema

U zatvaračnici vodospreme smješten je dovodno-odvodni cjevovod profila 500 mm, koji se prije vodnih komora grana na dovodni dio (2 x DN 300 mm) i odvodni dio istog profila. Dovodna i odvodna dionica cjevovoda međusobno su odijeljene nepovratnim ventilima.

Svaka vodna komora može se prema potrebi staviti izvan funkcije leptirastim zatvaračima s elektromotornim

pogonom, ugrađenih na dovodnim i odvodnim granama cjevovoda.

Svi ugrađeni *fazonski* komadi izrađeni su od nehrđajućeg čelika, s prirubničkim spojem, dok su armature (leptirasti zatvarači, usisne košare i nepovratni ventili proizvođača Erhard) od nodularnog lijeva s epoksidnom zaštitom.



Slika 4. Radovi na izgradnji spiralnih zidova vodospreme

Za mjerenje protoka na dovodno-odvodnom cjevovodu ugrađen je elektromagnetski induktivni mjerac protoka, s mogućnošću mjerenja u svakome smjeru posebno. Razina vode u komorama mjeri se sondama koje rade na principu promjene tlaka pri promjeni visine vodnog lica.

Svom mjerno-upravljačkom opremom može se upravljati na licu mjesta i sustavom daljinskog nadzora i upravljanja iz dispečerskog središta Regionalnog vodovoda Va

raždin. Svu ugrađenu mjerno-upravljačku opremu proizvela je tvrtka Siemens.

Za potrebe servisiranja i popravaka u zatvaračnici na strop je ugrađena viseća mosna dizalica nosivosti 1 tone.

Građevina je opremljena instalacijama vodovoda i kanalizacije te elektroinstalacijama za pogonski dio, grijanje i rasvjetu.

Na slici 4. prikazana je faza izgradnje vodospreme.

5 Zaključak

Izgradnjom druge baterije vodospreme Doljan znatno je povećana sigurnost vodoopskrbe Regionalnog vodovoda Varaždin, a ostvarit će se i uštede energije punjenjem vodospremničkog prostora u noćnom razdoblju kad je električna energija jeftinija.

Oblikovanje građevine vodospreme Doljan – II. faza izvedeno je tako da se ostvari hidraulički što povoljniji oblik, uz mogućnost jednolikog strujanja i miješanja vode, bez «mrtvih zona» u vodnim komorama. To je postignuto formiranjem zidova vodospreme u obliku krivulje Arhimedove spirale, koja se u izvedbi može dobro aproksimirati segmentima kružnog luka, uz primjenu dvostrane kružne oplate.

Investitor radova na izgradnji vodospreme je komunalno poduzeće Varkom d.d. Varaždin, zajedno s javnim poduzećem Hrvatske vode. Izvođač radova je tvrtka Zagorje tehnobeton d.d. Varaždin s kooperantima. Ukupna vrijednost investicije je gotovo 10.000.000 kn. Trenutačno su u tijeku završni radovi na izgradnji vodospreme, a potpuno dovršenje predviđeno je u proljeće 2007. godine.

IZVORI

- [1] *Idejni, glavni i izvedbeni projekt vodospreme Doljan – II faza*, 2005. g., AT Consult d.o.o. Varaždin, glavni projektant: Č. Vlahović dipl.ing.građ.
- [2] Merkl, G.: *Trinkwasser Behälter*, Oldenbourg Industrieverlag GmbH, München, 2005.
- [3] Mutschman, J.; Stimmelmayer, F.: *Taschenbuch der Wasserversorgung*, Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1983.
- [4] Bronstein I. N., Semendjajew K. A.: *Taschenbuch der Mathematik*, Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 2001.