Kvantificiranje utjecaja na okoliš povezanih s vodom pomoću koncepta vodnog otiska

Božić, Petra

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:412447

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Petra Božić

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Student:

Prof. dr. sc. Davor Ljubas, dipl. ing. Petra Božić

Zagreb, 2018.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Davoru Ljubasu na dostupnosti, pomoći, stručnom usmjeravanju i velikom strpljenju pri izradi ovog rada.

Također se zahvaljujem svojoj obitelji, prijateljima i dečku na strpljenju i podršci tijekom studija.

Petra Božić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Petra Božić** Mat. br.: 0035192179

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Kvantificiranje utjecaja na okoliš povezanih s vodom pomoću koncepta vodnog otiska**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Quantification of potential environmental impacts related to water by the concept of water footprint**

Opis zadatka:

Različite ljudske aktivnosti upotrebljavaju ili onečišćuju znatne količine vode. Na globalnoj razini, velik udio u korištenju vode zauzimaju poljoprivredna proizvodnja, industrijski sektor i domaćinstva. Potrošnja vode i onečišćenja povezani su s određenim aktivnostima kao što su navodnjavanje, kupanje, pranje, čišćenje, hlađenje i razne vrste industrijske obrade. Ukupna potrošnja vode i onečišćenje općenito se mogu smatrati zbrojem mnoštva nezavisnih aktivnosti.

U posljednjoj dekadi koncept *vodni otisak* (engl. water footprint) počeo se prihvaćati od strane vlada, nevladinih organizacija, poslovnog okruženja i medija kao koristan pokazatelj korištenja vode. Vodni otisak mjeri količinu vode koja se koristi za proizvodnju svakog od dobara i usluga koje koristimo. Obuhvaća tri komponente: 1. količina vode koja ispari iz globalnih „zelenih" vodenih resursa, tj. kišnica pohranjena u tlu kao vlaga (*zelena voda*), 2. količina vode povučena iz podzemnih ili površinskih voda (*plava voda*) i 3. onečišćenja vode (*siva voda*). Može se mjeriti za jedan proces, kao što je uzgoj određene biljne kulture, za pojedinačni proizvod, ili npr. za cijelu multinacionalnu tvrtku ili za određenu državu ili regiju. Povećani interes za koncept vodnog otiska potaknuo je pitanje o tome što potrošači i tvrtke mogu učiniti da smanje svoj vodni otisak i tako smanje negativan utjecaj na okoliš. Danas je prihvaćeno više načina određivanja vodnog otiska, a jedna od metodologija opisana je u međunarodnoj normi ISO 14046:2014.

U ovom radu potrebno je definirati i kritički raspraviti o danas dostupnim metodama izračuna vodnog otiska. Osim toga, potrebno je odrediti vodni otisak, ali i detaljno objasniti postupak i međusobne razlike vodnih otisaka, za tri različite razine: vodni otisak pojedinca, vodni otisak jednog konkretnog proizvoda i vodni otisak na razini jedne države.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
30. studenog 2017.

Rok predaje rada:
1. rok: 23. veljače 2018.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.
3. rok: 21. rujna 2018.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.
2. rok (izvanredni): 2.7. 2018.
3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Davor Ljubas

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

SADRŽAJ I
POPIS SLIKA III
POPIS TABLICA IV
POPIS OZNAKA V
SAŽETAK VIII
SUMMARY IX
1. UVOD 1
1.1. Procjena vodnog otiska 2
1.2. Međunarodna norma ISO14046:2014 3
2. CILJEVI I OPSEG PROCJENE VODNOG OTISKA 6
2.1. Opseg izračuna vodnog otiska 8
3. IZRAČUN VODNOG OTISKA 10
3.1. Vodni otisak procesnih koraka 11
3.1.1. Plavi vodni otisak 11
3.1.2. Zeleni vodni otisak 12
3.1.3. Sivi vodni otisak 12
3.1.3.1. Koncept kritičnog opterećenja 13
3.1.3.2. Točkasti izvori onečišćenja voda 14
3.1.3.3. Raspršeni izvori onečišćenja 15
3.2. Vodni otisak proizvoda 15
3.2.1. Pristup zbrajanjem lanaca 16
3.2.2. Stupnjeviti akumulativni pristup 17
3.2.3. Primjer izračuna vodnog otiska za rafinirani šećer iz Valladolida (Španjolska) 19
3.2.4. Primjer izračuna vodnog otiska za pamučnu majicu 21
3.2.5. Vodni otisak energije iz biomase 22
3.3. Vodni otisak potrošača ili grupe potrošača 24
3.4. Vodni otisak unutar geografski određenog područja 25
3.5. Izračun nacionalnog vodnog otiska 26
3.5.1. Izračun vodnog otiska unutar nacije 28
3.5.2. Izračun vodnog otiska nacionalne potrošnje 29
3.5.2.1. Pristup odozgo prema dolje 29
3.5.2.2. Pristup odozdo prema gore 30
3.5.2.3. Vanjski vodni otisak nacionalne potrošnje 31
3.5.2.4. Vodni otisak talijanske potrošnje 31
3.5.3. Ušteda vode povezana s trgovinom 33
3.5.4. Nacionalna vodna ovisnost u odnosu na nacionalnu vodnu samodostatnost 34
4. PROCJENA ODRŽIVOSTI VODNOG OTISKA 35
4.1. Održivost vodnog otiska procesa 36
4.2. Održivost vodnog otiska proizvoda 37
5. FORMULACIJA POSTUPANJA S VODOM 38

6. USPOREDBA VODNOG I UGLJIKOVOG OTISKA 40
6.1. Porijeklo koncepta ugljikovog i vodnog otiska 40
6.1.1. Ugljikov otisak 41
6.2. Usporedba ugljikovog i vodnog otiska iz metodološke perspektive 42
6.3. Usporedba formulacije postupanja s ugljikovim i vodnim otiskom 44
7. ZAKLJUČAK 45
LITERATURA 46
PRILOZI 47

POPIS SLIKA

Slika 1 . Komponente vodnog otiska [1] 2
Slika 2. Faze procjene vodnog otiska prema [6] 5
Slika 3. Vodni otisak procesa kao osnovna građevna jedinica ostalih vodnih otisaka, prema [1] 10
Slika 4. Proizvodni lanac pamuka [2] 21
Slika 5. Primjer izračuna vodnog otiska pomoću pomoću kalkulatora vodnog otiska [4] 25
Slika 6. Shema izračuna nacionalnog vodnog otiska, prema [1] 28
Slika 7. Globalni zeleni vodni otisak talijanske potrošnje (1996. - 2005. g.), preuzeto iz [2] . 32
Slika 8. Globalni plavi vodni otisak talijanske potrošnje (1996. – 2005. g.), preuzeto iz [2] .. 32
Slika 9. Globalni sivi vodni otisak talijanske potrošnje (1996. – 2005. g.), preuzeto iz [2] 33
Slika 10. Ukupni vodni otisak talijanske potrošnje (1996. – 2005. g.), preuzeto iz [2] 33

POPIS TABLICA

Tablica 1. Zeleni, plavi i sivi vodni otisak šećerne repe u Valladolidu (m3/t) [1] 20
Tablica 2. Vodni otisak primarnih izvora energije [7] 23
Tablica 3. Usporedba ekološkog, vodnog i ugljikovog otiska prema [5] 40
Tablica 4. Usporedba ugljikovog i vodnog otiska, prema [5] 42
Tablica 5. Usporedba ugljikovog i vodnog otiska – nastavak [5] 43

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$WF_{proc,plavi}$	volumen/vrijeme	Plavi vodni otisak procesnog koraka
$WF_{proc.zeleni}$	volumen/vrijeme	Zeleni vodni otisak procesnog koraka
$WF_{proc,sivi}$	volumen/vrijeme	Sivi vodni otisak procesnog koraka
L	masa/vrijeme	Zagađivačko opterećenje
c_{max}	masa/vrijeme	Maksimalna koncentracija zagađivala u prijemnoj vodi
c_{pri}	masa/vrijeme	Prirodna koncentracija zagađivala u prijemnoj vodi
L_{krit}	masa/vrijeme	Kritično opterećenje
R	volumen/vrijeme	Otjecanje vodnog tijela
Efl	volumen/vrijeme	Volumen efluenta
c_{efl}	masa/volumen	Koncentracija zagađivala u efluentu
Odv	volumen/vrijeme	Volumen vode odvajanja
c_{stv}	masa/volumen	Stvarna kocentracija zagađivala u ulaznoj vodi
α	-	Ispirući udio
$Prim$	masa/vrijeme	Primjena kemikalija na ili u tlu
p	-	proizvod
$WF_{prod}[p]$	volumen/masa	Vodni otisak proizvoda *p*
$WF_{proc}[s]$	molumen/vrijeme	Vodni otisak procesa *s*
$P[p]$	masa/vrijeme	Proizvodna količina proizvoda *p*
u	-	Ulazni proizvodi
$WF_{prod}[p]$	volumen/masa	Vodni otisak proizvoda *p*
$WF_{prod}[u]$	volumen/masa	Vodni otisak ulaznog proizvoda *u*
$f_p[p,i]$	masa/masa monetarna	Udio proizvoda
$f_v[p]$	jedinica/monetarna jedinica	Udio vrijednosti

Oznaka	**Jedinica**	**Opis**
$w[p]$	masa	Količina dobivenih izlaznih proizvoda p
$w[u]$	masa	Količina ulaznih proizvoda
WF_{potr}	volumen/vrijeme	Vodni otisak potrošača
$WF_{potr,dir}$	volumen/vrijeme	Direktni vodni otisak potrošača
$WF_{potr,indir}$	volumen/vrijeme	Indirektni vodni otisak potrošača
$C[p]$	jedinca proizvoda/vrijeme	Potrošnja proizvoda p
x	-	mjesto
$C[x,p]$	jedinica proizvoda/vrijeme	Potrošnja proizvoda p koji potječe s mjesta x
WF_{podr}	volumen/vrijeme	Vodni otisak unutar geografski određenog područja
$WF_{proc}[q]$	volumen/vrijeme	Vodni otisak procesa q
$V_{u,net}$	volumen/vrijeme	Saldo virtualne vode
V_u	volumen/vrijeme	Bruto uvoz virtualne vode
V_i	volumen/vrijeme	Bruto izvoz virtualne vode
$WF_{potr,nac}$	volumen/vrijeme	Vodni otisak potrošača unutar nacije
$WF_{potr,nac,un}$	volumen/vrijeme	Unutarnji vodni otisak nacionalne potrošnje
$WF_{potr,nac,vanj}$	volumen/vrijeme	Vanjski vodni otisak nacionalne potrošnje
$V_{i,d}$	volumen/vrijeme	Izvezena virtualna voda domaćeg porijekla
$V_{i,r}$	volumen/vrijeme	Izvezena virtualna vode stranog porijekla
V_b	volumen/vrijeme	Budžet virtualne vode
$Tu[n_i,p]$	jedinica proizvoda/vrijeme	Uvezena količina proizvoda p iz zemlje izvoznice n_i
$WF_{prod}[n_i,p]$	volumen/jedinica proizvoda	Vodni otisak proizvoda p u zemlji izvoznici n_i
$T_i[p]$	jedinica proizvoda/volumen	Količina proizvoda p izvezena iz nacije
$P[p]$	-	Nacionalna proizvodna količina proizvoda p

Oznaka	**Jedinica**	**Opis**
S_n	volumen/vrijeme	Nacionalna ušteda vode
S_g	volumen/vrijeme	Globalna ušteda vode
T	jedinica proizvoda/vrijeme	Volumen trgovine proizvoda
WD	%	Virtualna vodna ovisnost
WSS	%	Nacionalna vodna samodostatnost

SAŽETAK

Tema ovog rada je vodni otisak, metode njegova izračuna i njegova uloga u rješavanju problema nestašice slatke vode. U uvodu se prikazuje koncept vodnog otiska, njegove podjele i procjene. Predstavljena je međunarodna norma ISO 14046:2014 u kojoj je opisana metodologija izračuna vodnog otiska. U sljedećem poglavlju navedeni su mogući ciljevi i opseg procjene vodnog otiska koji su potrebni za izračun vodnog otiska koji je opisan u 3. poglavlju. Objašnjen je postupak izračuna vodnog otiska procesnog koraka, proizvoda (uz primjer rafiniranog šećera i pamučne majice), potrošača ili grupe potrošača, geografski određenog područja i nacije (talijanska potrošnja korištena kao primjer). Također, prikazan je odnos vodnih otisaka različitih primarnih izvora energije. U narednim poglavljima obrađuju se procjena održivosti vodnog otiska i formulacija postupanja s vodom. Na kraju je napravljena usporedba vodnog i široj javnosti poznatijeg ugljikovog otiska.

Ključne riječi: vodni otisak, izračun vodnog otiska, održivost vodnog otiska, formulacija postupanja s vodom

SUMMARY

The topic of this thesis is water footprint, water footprint accounting methods and its role in solving freshwater scarcity problems. In the introduction part we are acquainted with the concept of water footprint, its components and assessment. International Standard ISO14046:2014, which provides principles and guidelines for water footprint assessment, is presented as well. Possible goals and scope of water footprint assessment are listed in the next chapter. Chapter 3 explains water footprint accounting of a process step, product (with the example for refined sugar and cotton shirt), consumer or group of consumers, geographically delineated area and nation (Italian consumption listed as an example). Also, ratio between the water footprint of different primary energy carriers is shown. Following chapters provide information about water footprint sustainability assessment and water footprint response options. In the last chapter a comparison between carbon and water footprint is made.

Key words: water footprint, water footprint accounting, water footprint sustainability, water footprint response formulation

1. UVOD

Koncept vodnog otiska utemeljio je nizozemski znanstvenik Arjen Y. Hoekstra 2002. godine. Vodni otisak je pokazatelj ne samo direktne, već i indirektne potrošnje vode [1]. Analogan je ekološkom i ugljikovom otisku, ali se odnosi na potrošnju vode, a ne na obradive površine i šume, tj. stakleničke plinove. Vodni otisak proizvoda je volumen vode potreban za njegovu proizvodnju, mjeren tijekom raznih koraka u proizvodnom lancu [2]. To je višedimenzionalni indikator volumena potrošnje vode s obzirom na izvor potrošnje i volumena zagađene vode s obzirom na vrstu zagađenja. Sve komponente ukupne potrošnje vode određene su vremenski i prostorno.

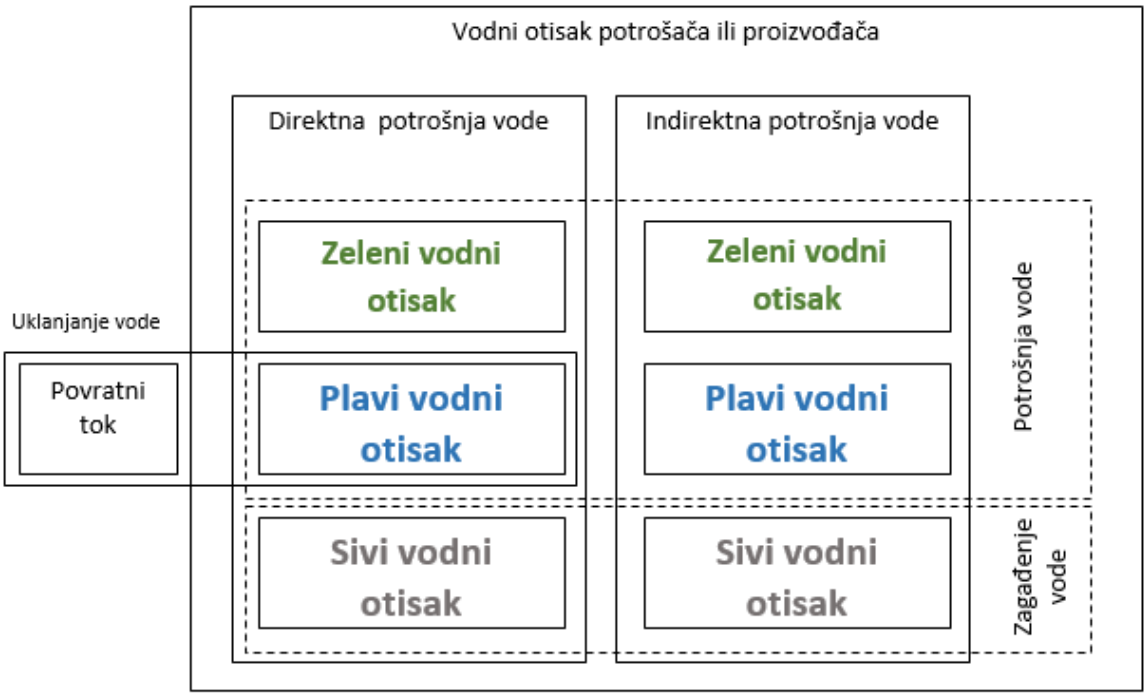
Vodni otisak se dijeli na:

- Plavi
- Zeleni
- Sivi.

Plavi vodni otisak je volumen slatke vode koja je isparila iz svjetskih izvora plave vode (površinske i podzemne vode) radi proizvodnje dobara i usluga koje konzumira pojedinac ili zajednica.
Zeleni vodni otisak odnosi se na potrošnju zelenih vodnih resursa (kišnica koja se nalazi u tlu u obliku vlage).
Sivi vodni otisak je volumen onečišćenih voda vezanih uz proizvodnju dobara i usluga za pojedinca ili zajednicu. Računa se kao volumen vode potrebne za razrjeđenje zagađivača do razine pri kojoj kvaliteta vode ostaje iznad dogovorenih standarda kvalitete [1, 3].

Uklanjanje vode (eng. water withdrawal) je antropogeno povlačenje vode iz bilo kojeg vodnog tijela ili riječnog korita, bilo to trajno ili privremeno [6]. Kao pokazatelj „upotrebe vode“, vodni otisak se razlikuje od klasične mjere uklanjanja vode u tri stvari:

1. Ne uključuje upotrebu plave vode sve dok je ta voda vraćena na mjesto iz kojeg došla.
2. Nije ograničen samo na upotrebu plave vode, već uključuje i zelenu i sivu vodu.
3. Nije ograničen isključivo na direktnu potrošnju vode, već uključuje i indirektnu potrošnju vode.



Slika 1 . Komponente vodnog otiska [1]

Iz tog razloga vodni otisak nudi bolju i širu sliku o vezi potrošača ili proizvođača s korištenjem slatkovodnih sustava. To je volumetrička mjera potrošnje i zagađenja vode, a ne mjera ozbiljnosti njihova lokalnog utjecaja na okoliš [1].

1.1. Procjena vodnog otiska

Općenito govoreći, cilj procjene vodnog otiska je analizirati povezanost ljudskih aktivnosti ili specifičnih proizvoda s problemima zagađenosti i nestašice vode te vidjeti kako aktivnosti i proizvodi mogu postati održiviji iz perspektive vodnih resursa.

Procjena vodnog otiska se odnosi na cijeli niz aktivnosti [1]:

I. Kvantificirati i locirati vodni otisak procesa, proizvoda, proizvođača ili potrošača ili kvantificirati u prostoru i vremenu vodni otisak u određenom geografskom području
II. Procijeniti ekološku, socijalnu i ekonomsku održivost tog vodnog otiska
III. Formuliranje strategije daljnjeg postupanja s vodom.

Cjelovita procjena vodnog otiska sastoji se od 4 različite faze [1]:

1. postavljanje ciljeva i opsega
2. izračun vodnog otiska
3. procjena održivosti vodnog otiska
4. formulacija postupanja s vodom

U fazi izračuna vodnog otiska prikupljaju se podaci i kreira obračun. Opseg i razina detalja u obračunu ovise o odlukama donesenim u prethodnoj fazi. Zatim slijedi faza procjene održivosti u kojoj se vodni otisak vrednuje sa sociološkog i ekonomskog gledišta. U posljednjoj fazi razvijaju se strategije postupanja s vodom [1].

1.2. Međunarodna norma ISO14046:2014

Ova norma nastala je kao odgovor na rastuću potražnju vode, povećanu nestašicu vode u mnogim područjima i/ili degradaciju kvalitete vode. Time se pogoni potreba za boljim razumijevanjem utjecaja povezanih s vodom kao baza za unaprijeđeni vodni menadžment na lokalnoj, regionalnoj, nacionalnoj i svjetskoj razini [6].

Stoga je poželjno imati prikladne tehnike procjene koje mogu biti korištene na internacionalno dosljedan način. Jedna od tehnika razvijenih za svrhu je procjena vodnog otiska. Norma specificira procjenu vodnog otiska i usklađena je s osnovnom idejom o vodnom otisku koju je predložio Arjen Y. Hoekstra [1].

Procjena vodnog otiska koja se provodi prema ovoj međunarodnoj normi [6] :

- je povezana s procjenom životnog ciklusa
- je modularna (vodni otisak različitih faza životnih ciklusa može se zbrojiti)
- identificira potencijalne ekološke utjecaje povezane s vodom
- uključuje relevantne geografske i vremenske dimenzije
- identificira količinu korištenja vode i promjene u kakvoći vode
- iskorištava hidrološko znanje.

Procjena vodnog otiska može pomoći u [6]:

- procjeni značaja potencijalnih ekoloških utjecaja povezanih s vodom
- identificiranju prilika za smanjenjem potencijalnih ekoloških utjecaja srodnih vodi koji su povezani s proizvodima u raznim fazama njihova životnog ciklusa, kao i procesima organizacijama
- strateškom upravljanju rizicima povezanih s vodom
- omogućavanju vodne učinkovitosti i optimizacije vodnog menadžmenta na proizvodnoj, procesnoj i organizacijskoj razini
- informiranju donositelja odluka u industriji i vladinim i nevladnim organizacijama o njihovim potencijalnim ekološkim utjecajima povezanim s vodom (npr. u svrhu strateškog planiranja, određivanja prioriteta, konstruiranja i rekonstruiranja proizvoda i procesa)
- pružanju konstantnih i pouzdanih informacija, temeljenih na znanstvenim dokazima za izvještavanje rezultata vodnog otiska.

Sama procjena vodnog otiska nedovoljna je za opis ukupnih potencijalnih ekoloških utjecaja proizvoda, procesa i organizacija.

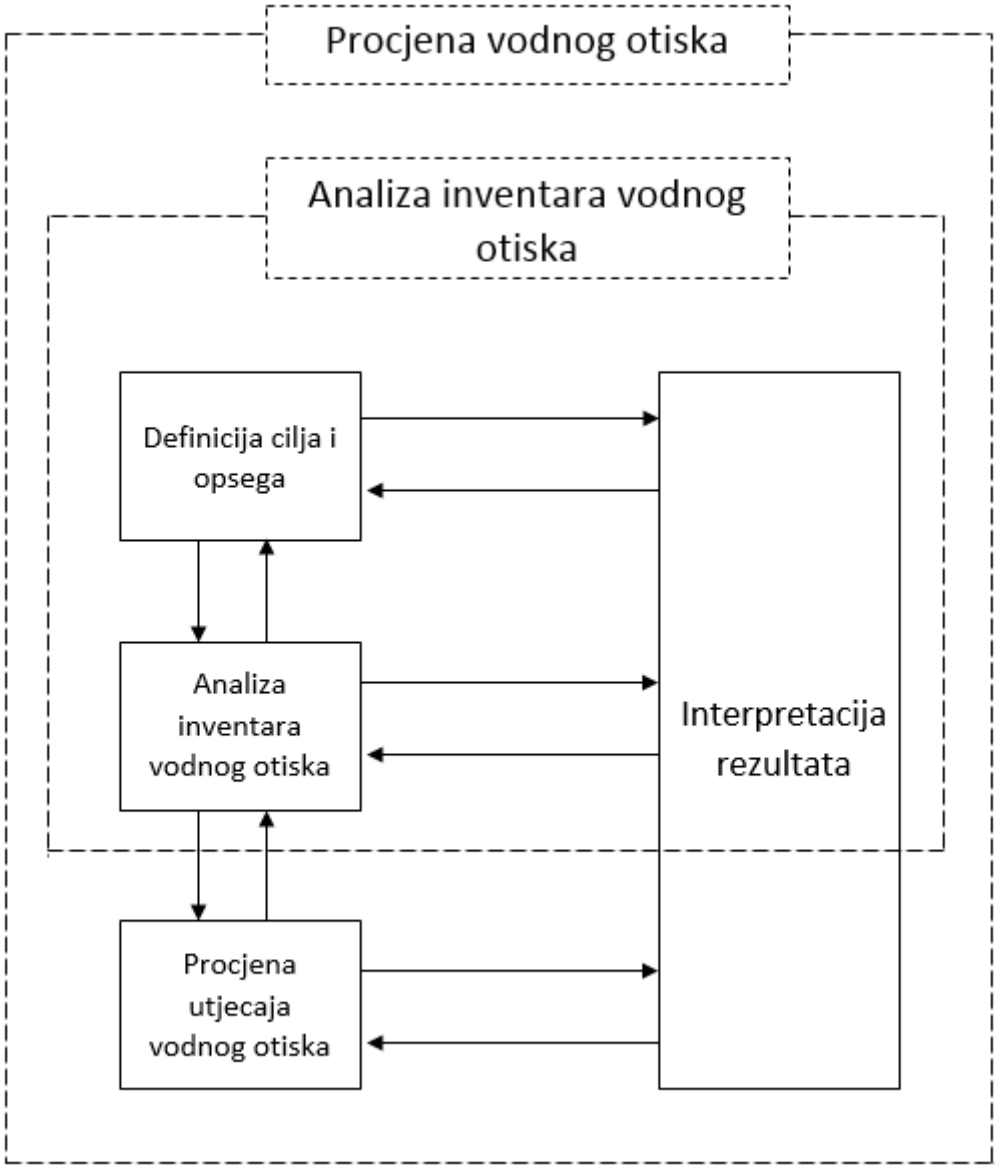
Prema ovom standardu moguće je provesti i objaviti procjenu vodnog otiska kao samostalnu procjenu gdje se procjenjuju samo utjecaji povezani s vodom ili kao procjene životnog ciklusa gdje se u obzir uzima sveobuhvatan set ekoloških utjecaja, a ne isključivo utjecaja povezanih s vodom.

Faze procjene životnog ciklusa su [6]:

- definiranje cilja i opsega
- analiza inventara vodnog otiska
- procjena utjecaja vodnog otiska
- interpretacija rezultata.

Studija inventara vodnog otiska uključuje:

- definiranje cilja i opsega
- analizu inventara vodnog otiska
- interpretaciju rezultata.



Slika 2. Faze procjene vodnog otiska prema [6]

2. CILJEVI I OPSEG PROCJENE VODNOG OTISKA

Ciljevi analize vodnog otiska ovise o svrsi same studije, tj. je li naš predmet zanimanja vodni otisak određenog koraka u proizvodnji, samog proizvoda, potrošača, grupe potrošača, kompanije, određenog poslovnog sektora ili čak cjelokupne ljudske populacije. Pri određivanju ciljeva procjene vodnog otiska možemo se poslužiti sljedećom listom [1]:

- OPĆENITO
    - Koji je naš krajnji cilj? Podizanje razine svijesti, otkrivanje žarišta, kreiranje politike ili postavljanje kvantitativnih ciljeva?
    - Je li naglasak na određenoj fazi? Fokus na izračunu, održivosti, procjeni ili formulaciji postupanja s vodom?
    - Koji je opseg našeg interesa? Direktni i/ili indirektni vodni otisak? Zeleni, plavi i /ili sivi vodni otisak?
    - Kako se odnositi prema vremenskom aspektu analize? Ciljati na procjenu za jednu određenu godinu ili prosjek tijekom više godina, ili na analizu trendova?

- PROCJENA VODNOG OTISKA PROCESA
    - Koje procese uzeti u obzir? Jedan specifičan proces ili alternativne, zamjenjive procese (kako bi usporedili vodne otiske alternativnih tehnika)?
    - Koje razina? Jedan specifični proces na specifičnoj lokaciji ili isti proces na različitim lokacijama?

- PROCJENA VODNOG OTISKA PROIZVODA
    - Koji proizvod uzeti u obzir? Skladišnu jedinicu određene marke, jednu određenu vrstu proizvoda ili cijelu kategoriju proizvoda?
    - Koja razina? Uključiti proizvod(e) s jednog polja ili iz jedne tvornice, iz jedne ili više kompanija ili iz jedne ili više proizvodnih regija?

- PROCJENA VODNOG OTISKA POTROŠAČA ILI ZAJEDNICE
    - Koja zajednica? Jedan individualni potrošač ili potrošači unutar općine, pokrajine ili države?

- PROCJENA VODNOG OTISKA UNUTAR ODREĐENOG GEOGRAFSKOG PODRUČJA
    - Koje su granice područja? Slap, sliv, općina, pokrajina, država ili nacija?
    - Koje je područje našeg interesa? Ispitati kako je vodni otisak unutar nekog područja smanjen uvozom virtualne vode i kako je povećan proizvodnjom proizvoda namijenjenih izvozu, analizirati kako su vodni resursi nekog područja raspoređeni za različite namjene i/ili ispitati gdje vodni otisak unutar nekog područja narušava zahtjeve lokalnog ekološki prihvatljivog toka ili zahtjeve kakvoće ambijentalnih voda?

- PROCJENA NACIONALNOG VODNOG OTISKA (VODNI OTISAK UNUTAR NACIJE I VODNI OTISAK NACIONALNE POTROŠNJE)
    - Koji je opseg interesa? Procijeniti vodni otisak unutar nacije i/ili vodni otisak nacionalne potrošnje? Analizirati unutarnji i/ili vanjski vodni otisak nacionalne potrošnje?
    - Koje je područje interesa? Procijeniti nestašicu vode u zemlji, održivost nacionalne proizvodnje, izvoz oskudnih vodnih resursa u virtualnom obliku, nacionalnu štednju vode uvozom virtualne vode, utjecaj vodnog otiska nacionalne potrošnje u drugim zemljama i/ili ovisnost o stranim izvorima vode?

- PROCJENA VODNOG OTISKA PODUZEĆA
    - Koja je razina studije? Dio poduzeća, cijelo poduzeće ili cijeli sektor?
    - Koliki je opseg interesa? Procijeniti vodni otisak operativnog i/ili lanca opskrbe?
    - Koje je područje interesa? Poslovni rizik, transparentnost proizvoda, označavanje proizvoda, određivanje referentne točke, certificiranje poduzeća, identifikacija kritičnih komponenti vodnog otiska, kvantificiranje ciljeva za smanjenje vodnog otiska?

2.1. Opseg izračuna vodnog otiska

Potrebno je jasno odrediti „granice inventara“ kojima određujemo što uključiti i što isključiti iz računa. Trebaju biti izabrane kao funkcija svrhe računa. Lista po kojoj se možemo orijentirati pri izradi računa vodnog otiska je [1]:

- Razmatrati plavi, zeleni i/ili sivi vodni otisak?
    - Izvori plave vode su u pravilu oskudniji i imaju viši oportunitetni trošak nego zelena voda te se izračun vodnog otiska često odnosi samo na plavi vodni otisak. To je dovelo do zanemarivanja važnosti zelene vode kao faktora u proizvodnji. Budući da su izvori zelene vode također ograničeni trebalo bi i njih uključiti u račun. Isto tako, ukoliko nas zanima zagađenje vode i utjecaj zagađenja i potrošnje vode na dostupne izvore vode, trebamo uzeti u obzir i sivi vodni otisak.

- Gdje skratiti analizu prilikom vraćanja duž opskrbnog lanca?
    - Iako opće smjernice nisu još razvijene, opće prihvaćeno pravilo je da se uračunaju vodni otisci svih procesa unutar proizvodnog sistema koji značajno doprinose cjelokupnom vodnom otisku.
    - Postoje nedoumice treba li uračunati i vodni otisak rada koji je ulazni faktor u gotovo svim procesima. Budući da su potrošači ujedno i radnici, uobičajena je praksa je isključiti rad iz faktora koji utjelovljuju indirektnu upotrebu resursa kako bi se izbjegla beskonačna petlja dvostrukog, trostrukog brojanja.
    - Također postoje dvojbe i oko toga treba li uključiti i vodni otisak transporta. Količina vode potrebna za transport je uglavnom zanemariva u odnosu na ukupnu količinu vode potrebne za izradu i prijevoz proizvoda. No, preporučuje se uračunavanje vodnog otiska transporta kada se kao izvor energije koriste biogoriva ili hidroenergija jer je poznato da ovi izvori energije imaju veliki vodni otisak.

- Koja razina vremensko-prostornog objašnjenja?
    - Razina detalja pri izračunu vodnog otiska može biti različita.
    - Najmanje detaljna je razina A gdje se vodni otisak procjenjuje na temelju podataka o globalnom prosjeku vodnog otiska tijekom višegodišnjeg razdoblja. Glavna svrha ovakvih izračuna je podizanje razine svijesti, prepoznavanje proizvoda koji najznačajnije pridonose ukupnom vodnom otisku i predviđanje globalne potrošnje vode.

- Na razini B vodni otisak se procjenjuje na temelju mjesečnog ili godišnjeg nacionalnog ili regionalnog prosjeka ili vodnog otiska sliva rijeke. Ova je razina pogodna za lociranje mogućih žarišta.
- Najdetaljnija je razina C koja se temelji na preciznim ulaznim podacima. Minimalna prostorna razlučivost je na razini malih slivova (~100-1000 km^2), ali ukoliko netko želi i podaci mu to dopuštaju, može se računati i na razini polja. Minimalna vremenska razlučivost je mjesec i proučavanje međugodišnjih varijacija je dio analize.

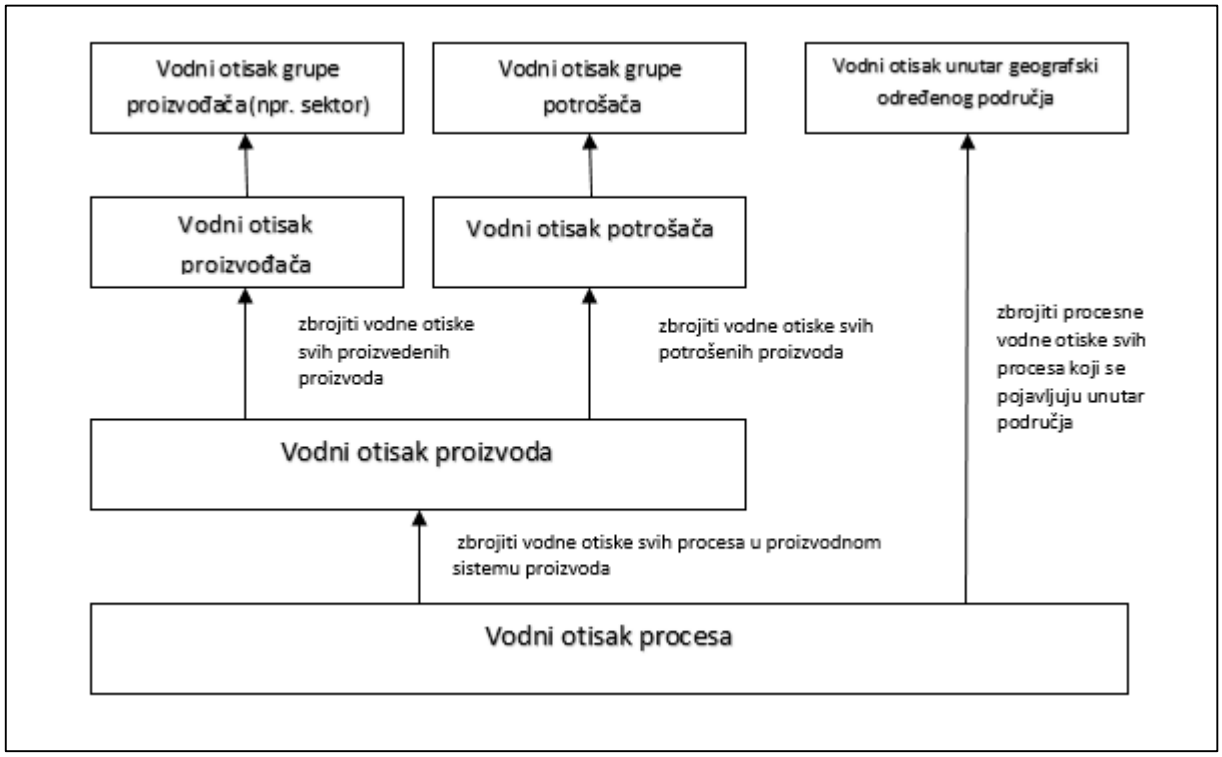
- Podaci iz kojeg razdoblja?
  - Dostupnost vode se mijenja unutar godine i tijekom godina te se stoga i potreba za vodom mijenja tijekom vremena. Prilikom provođenja studije uvijek treba jasno naglasiti iz kojeg su vremenskog razdoblja uzimani podaci.

- Direktni ili indirektni vodni otisak?
  - Opća preporuka je da se uključe i direktni i indirektni vodni otisak. Za većinu poduzeća vodni otisak njihovog opskrbnog lanca je znatno veći od njihovog operativnog vodnog otiska. Zanemarivanje opskrbnog lanca može rezultirati investiranjem u operativni lanac, iako bi investiranje u opskrbni bilo ekonomski isplativije.

- Razmatrati vodni otisak unutar nacije ili vodni otisak nacionalne potrošnje?
  - Vodni otisak unutar nacije je ukupni volumen slatke vode koji je potrošen ili zagađen unutar teritorija neke nacije. Uključuje vodu za proizvodnju proizvoda namijenjenih i domaćem i stranom tržištu.
  - Vodni otisak nacionalne potrošnje je ukupna količina vode potrebna proizvodnju dobara i usluga koje su konzumirane unutar nacije. Odnosi se na vodu unutar i izvan teritorija nacije, ali je ograničena na vodu korištenu za proizvode konzumirane unutar nacije.

3. IZRAČUN VODNOG OTISKA

Vodni otisak jednog koraka u procesu je osnovna građevna jedinica svih izračuna vodnog otiska. Vodni otisak međuproizvoda ili konačnog proizvoda (usluga ili dobara) je zbroj vodnih otisaka raznih koraka relevantnih u proizvodnji proizvoda. Vodni otisak konačnog proizvoda može se zbrojiti bez dvostrukog brojanja zato što su vodni otisci procesa vezani uz isključivo jedan konačni proizvod ili, kada proces doprinosi više proizvoda, vodni otisak procesa je podijeljen između više različitih konačnih proizvoda. Zbrajanje vodnih otisaka međuproizvoda nema smisla jer se može pojaviti dvostruko brojanje. Naprimjer, ako bi netko zbrojio vodni otisak pamučne tkanine i vodni otisak ubranog pamuka, dvostruko bi brojao jer prvo sadrži drugo [1].



Slika 3. Vodni otisak procesa kao osnovna građevna jedinica ostalih vodnih otisaka, prema [1]

Veza između različitih vrsta vodnog otiska:

- **Vodni otisak proizvoda** = suma vodnih otisaka svakog koraka u procesu proizvodnje proizvoda (uzimajući u obzir cijeli proizvodni i opskrbni lanac)
- **Vodni otisak potrošača** = suma vodnih otisaka svih proizvoda koje konzumira potrošač
- **Vodni otisak zajednice** = suma vodnih otisaka njenih članova
- **Vodni otisak nacionalne potrošnje** = suma vodnih otisaka pripadnika nacije
- **Vodni otisak poduzeća =** suma vodnih otisaka konačnih proizvoda koje poduzeće proizvodi
- **Vodni otisak unutar određenog geografskog područja (općina, provincija, regija, država, sliv) =** suma vodnih otisaka svih procesa koji se odvijaju u datom području

3.1. Vodni otisak procesnih koraka

Vodni otisak proces izražava se kao volumen vode po jedinici vremena. Kada je podijeljen s količinom proizvoda kojima rezultira proces (jedinice proizvoda po jedinici vremena), može biti izražen i kao volumen vode po jedinici proizvoda.

3.1.1. Plavi vodni otisak

Plavi vodni otisak procesnog koraka računa se kao:

$$WF_{\text{proc,plavi}} = EvaporacijaPlaveVode + UključivanjePlaveVode + IzgubljeniPovratniTok \quad [\text{volumen/vrijeme}] \qquad \textbf{(1)}$$

Posljednja komponenta odnosi se na povratni tok kojeg nije moguće ponovno upotrijebiti unutar istog sliva ili unutar istog vremena povlačenja iz razloga što je vraćen u drugo slivno područje ili pušten u more ili je vraćen u drugom vremenskom razdoblju.

Pri procjeni plavog vodnog otiska procesa nekad je od važnosti (ovisno o opsegu studije) razlikovati različite vrste izvora plave vode. Najvažnija je podjela između površinskih voda, tekućih (obnovljivih) podzemnih voda i fosilnih podzemnih voda. Stoga plavi vodni otisak možemo podijeliti na plavi vodni otisak površinskih voda, plavi vodni otisak obnovljivih podzemnih voda i plavi vodni otisak fosilnih podzemnih voda (svijetloplavi, tamnoplavi i crni vodni otisak). Ova podjela je u praksi rijetkost zbog nedostatka podataka. [1]

3.1.2. Zeleni vodni otisak

Zeleni vodni otisak odnosi se na precipitaciju na tlu koja ne otječe ili ne puni ponovno podzemnu vodu, već se skladišti u tlu ili privremeno ostaje na vrhu tla ili vegetacije. Naposljetku, taj dio precipitacije gubi se kroz biljke procesom isparavanja ili transpiracije.

Zeleni vodni otisak je volumen kišnice koji je potrošen tijekom proizvodnog procesa. Ovo je naročito bitno za poljoprivredne i šumarske proizvode, gdje se otisak odnosi na ukupnu evapotranspiraciju kišnice (s polja i plantaža) i vodu koja je integrirana u usjeve ili drva. Zeleni vodni otisak procesnog koraka jednak je:

$$WF_{\text{proc,zeleni}} = EvaporacijaZeleneVode + UključivanjeZeleneVode \quad [\text{volumen/vrijeme}] \qquad \textbf{(2)}$$

Razlika između plavog i zelenog vodnog otiska je bitna zato što se hidrološki, ekološki i socijalni utjecaji, kao i ekonomski oportunitetni troškovi korištenja površinskih i podzemnih voda za proizvodnju, značajno razlikuju od utjecaja i korištenja kišnice.

U poljoprivredi se zeleni vodni otisak može procijeniti setom empirijskih formula ili modelom usjeva pogodnim za procjenu evapotranspiracije na temelju ulaznih podataka o klimi, tlu i karakteristikama usjeva [1].

3.1.3. Sivi vodni otisak

Sivi vodni otisak procesnog koraka pokazatelj je stupnja zagađenja slatke vode koji može biti povezan s korakom procesa. Definira se kao volumen slatke vode potreban za asimiliranje opterećenja onečišćujućih tvari temeljen na prirodnim pozadinskim koncentracijama i postojećim standardima kvalitete ambijentalne vode.

Računa se dijeljenjem zagađivačkog opterećenja L (masa/vrijeme) razlikom između standarda kvalitete ambijentalne vode za to zagađivalo (maksimalno prihvatljiva koncentracija c_{max}, masa/vrijeme) i njegove prirodne koncentracije u prijemnoj vodi (c_{pri}, masa/vrijeme):

$$WF_{proc,sivi} = \frac{L}{c_{max} - c_{pri}} \qquad [\text{volumen/vrijeme}] \tag{3}$$

Prirodna koncentracija u prijemnoj vodi je koncentracija zagađivala koju bi voda imala bez ikakvih ljudskih utjecaja. Za tvari koje su djelo ljudskih ruku i koje se prirodno ne pojavljuju u vodi, c_{pri}=0. Kada prirodne koncentracije nisu poznate, ali se pretpostavlja da su niske, radi jednostavnosti uzima se c_{pri}=0. Međutim, ako c_{pri} nije zbilja nula, rezultat je manji od stvarnog iznosa [1].

3.1.3.1. Koncept kritičnog opterećenja

Kada opterećenje tekućeg vodnog tijela dosegne kritičnu razinu sivi vodni otisak je jednak otjecanju što znači da je otjecanje pogodno za asimilaciju otpadnih voda. Kritično opterećenje (L_{krit}, masa/vrijeme) je opterećenje onečišćujućih tvari koje u potpunosti konzumira asimilacijski kapacitet prijemnog vodnog tijela. Računa se množenjem otjecanja vodnog tijela (R, volumen/vrijeme) razlikom maksimalno prihvatljive i prirodne koncentracije:

$$L_{krit} = R \times (c_{max} - c_{pri}) \qquad [\text{masa/vrijeme}] \tag{4}$$

Koncept kritičnog opterećenja sličan je ukupnom maksimalnom dnevnom opterećenju (TMDL) (eng. *total maximum daily load*). TMDL računa maksimalnu dozvoljenu količinu zagađivala u vodnom tijelu kako bi vodno tijelo zadovoljilo standarde kvalitete vode za to određeno zagađivalo i alociralo to opterećenje točkastim i raspršenim izvorima zagađenja koji uključuju zagađenja antropogenog i prirodnog porijekla. Drugi vrlo blizak koncept kritičnom opterećenju je koncept maksimalno dopuštenog dodatka (MPA), (eng. *maximum permissible addition*) koji je definiran kao maksimalno dopuštena koncentracija (MPC), (eng. *maximum*

permissible concentration) umanjena za pozadinsku koncentraciju te je stoga ekvivalentna $c_{\text{max}} - c_{\text{pri}}$ [1].

3.1.3.2. Točkasti izvori onečišćenja voda

U slučaju točkastih izvora onečišćenja voda kemikalije se direktno ispuštaju u površinsko vodno tijelo u obliku odlaganja otpadnih voda. Opterećenje se procjenjuje mjerenjem volumena efluenta i koncentracije kemikalija u efluentu.

Opterećenje zagađivalima računa se kao volumen efluenta (*Efl*, volumen/vrijeme) pomnožen koncentracijom zagađivala u efluentu (c_{efl}, masa/volumen) umanjen za volumen vode odvajanja (*Odv*, volumen/vrijeme) pomnožen sa stvarnom koncentracijom zagađivala u ulaznoj vodi (c_{stv}, masa/volumen). Sivi vodni otisak se računa kao:

$$WF_{\text{proc,sivi}} = \frac{L}{c_{\text{max}} - c_{\text{nat}}} = \frac{Efl \times c_{\text{efl}} - Odv \times c_{\text{stv}}}{c_{\text{max}} - c_{\text{nat}}} \quad [\text{volumen/vrijeme}] \qquad \textbf{(5)}$$

Opterećenje zagađivalom *L* je opterećenje koje se pojavljuje povrh opterećenja koje je već sadržano u primajućem vodnom tijelu prije uplitanja razmatrane akcije. U većini slučajeva količina kemikalija ispuštenih u vodno tijelo ($Efl \times c_{\text{efl}}$) je veća od količine odvojenih kemikalija ($Odv \times c_{\text{stv}}$) pa je opterećenje pozitivno. U iznimnim slučajevima (kada je ili $c_{\text{efl}} < c_{\text{stv}}$ ili $Efl < Odv$) može se dobiti negativno opterećenje. U tom slučaju računa se da je vodni otisak nula.

Ako je voda izdvojena u slivu A, a otpadne vode su ispuštene u sliv B, prilikom računanja sivog vodnog otiska u slivu B treba uzeti $Odv = 0$.

Kada nema potrošnje vode, tj. kada je volumen efluenta jednak volumenu izdvojene vode, gornja jednadžba poprima jednostavniji oblik:

$$WF_{\text{proc,sivi}} = \frac{c_{\text{efl}} - c_{\text{stv}}}{c_{\text{max}} - c_{\text{pri}}} \times Efl \quad [\text{volumen/vrijeme}] \qquad \textbf{(6)}$$

Faktor ispred *Efl* naziva se faktor razrjeđivanja i pokazuje broj puta koliko volumen efluenta mora biti razrijeđen ambijentalnom vodom kako bi se postigla maksimalna prihvatljiva koncentracija [1].

3.1.3.3. Raspršeni izvori onečišćenja

Kod raspršenih izvora onečišćenja možemo mjeriti količinu primijenjenih kemikalija, ali ne i udio tih kemikalija koji dospije do podzemnih ili površinskih voda jer one ulaze u vodu difuznim načinom i zato nije jasno gdje i kada mjeriti.

Preporuča se procijeniti udio primijenjenih kemikalija koristeći jednostavnije ili naprednije modele. Najjednostavniji model uključuje pretpostavku da određeni fiksni udio primijenjenih kemikalija u konačnici dospije do podzemnih ili površinskih voda:

$$WF_{\text{proc,sivi}} = \frac{L}{c_{\max} - c_{\text{pri}}} = \frac{\alpha \times Prim}{c_{\max} - c_{\text{pri}}} \qquad [\text{volumen/vrijeme}] \tag{7}$$

Bezdimenzionalni faktor α je ispirući udio koji je definiran kao udio primijenjenih kemikalija koje dosegnu vodna tijela. Varijabla *Prim* predstavlja primjenu kemikalija na ili u tlu u određenom procesu (masa/vrijeme). [1]

3.2. Vodni otisak proizvoda

Vodni otisak proizvoda je ukupni volumen slatke vode koja je direktno ili indirektno korištena za proizvodnju proizvoda. Pri njegovom izračunu uzimaju se u obzir potrošnja i zagađenje vode u svim koracima u proizvodnom lancu. Postupak izračuna je sličan za različite vrste proizvoda neovisno o tome dolaze li iz poljoprivrednog, industrijskog ili uslužnog sektora. Vodni otisak proizvoda sastoji se od tri komponente: zelena, plava i siva.

Vodni otisak proizvoda uvijek se izražava kao volumen vode po jedinici proizvoda. Primjeri:

- volumen vode po jedinici mase (za proizvode kod kojih je težina indikator količine)
- volumen vode po novčanoj jedinici (za proizvode gdje nam vrijednosti govori više o proizvodu od njene težine)
- volumen vode po komadu (za proizvode koji se broje po komadu, ne težini)
- volumen vode po jedinici energije (po kcal za prehrambene proizvode ili J za električnu energiju ili goriva).

Vodni otisak poljoprivrednih proizvoda uglavnom se izražava u m^3/t ili l/kg. Vrlo često, kada su poljoprivredni proizvodi brojivi, vodni otisak može također biti izražen kao volumen vode po komadu. Vodni otisak industrijskih proizvoda može biti izražen u m^3/US$ ili volumenu vode po komadu [1].

Vodni otisak proizvoda može se izračunati na dva različita načina [1]:

- zbrajanjem lanaca (može se primijeniti samo u posebnim slučajevima)
- stupnjeviti akumulativni pristup (opći pristup)

3.2.1. Pristup zbrajanjem lanaca

Ovo je jednostavniji pristup, ali se može primijeniti samo u slučaju kada proizvodni sustav proizvodi samo jedan izlazni proizvod. U ovom konkretnom slučaju vodni otisci koji mogu biti povezani s različitim procesnim koracima u proizvodnom sustavu mogu svi u potpunosti biti pripisani izlaznom proizvodu.

Vodni otisak proizvoda *p* (volumen/masa) jednak je zbroju vodnih otisaka relevantnih procesa podijeljenom s proizvodnom količinom proizvoda *p*:

$$WF_{prod}[p] = \frac{\sum_{s=1}^{k} WF_{proc}[s]}{P[p]} \qquad [\text{volumen}/\text{masa}] \tag{8}$$

gdje je $WF_{proc}[s]$ procesni vodni otisak procesnog koraka *s* (volumen/vrijeme), a *P[p]* proizvodna količina proizvoda *p* (masa/vrijeme). U praksi su proizvodni sustavi sa samo jednim izlaznim proizvodom rijetki te je stoga općenitiji način izračuna potreban, način kojim se korištena voda može rasporediti proizvodnim sustavom do raznih krajnjih proizvoda bez dvostrukog brojanja [1].

3.2.2. Stupnjeviti akumulativni pristup

Ovo je općeniti način izračuna vodnog otiska proizvoda. Temelji se na vodnim otiscima ulaznih proizvoda koji su bili nužni u zadnjem koraku procesa proizvodnje toga proizvoda i procesnom vodnom otisku.

Pretpostavimo da imamo nekoliko ulaznih proizvoda za izradu jednog izlaznog proizvoda. U ovom slučaju vodni otisak krajnjeg proizvoda možemo dobiti jednostavnim zbrajanjem vodnih otisaka ulaznih proizvoda i dodavanjem procesnog vodnog otiska. Pretpostavimo drugi slučaj gdje imamo jedan ulazni proizvod i nekoliko izlaznih proizvoda. U ovom slučaju potrebno je podijeliti vodni otisak ulaznog proizvoda različitim izlaznim proizvodima. Može ga se podijeliti proporcionalno vrijednosti izlaznih proizvoda ili proporcionalno masi proizvoda. Prvi način je smisleniji.

Promotrimo najopćenitiji slučaj. Želimo izračunati vodni otisak proizvoda *p* (*p*=1...*z*) koji se izrađuje od *y* ulaznih proizvoda (*i*=1...*y*). Ukoliko se koristi voda tijekom procesne obrade, vodni otisak procesa je dodan vodnom otisku ulaznih proizvoda prije nego je konačan iznos raspodijeljen po različitim izlaznim proizvodima. Vodni otisak izlaznog proizvoda *p* se računa kao:

$$WF_{\mathrm{prod}}[p] = \left(WF_{\mathrm{proc}}[p] + \sum_{i=1}^{y} \frac{WF_{\mathrm{prod}}[u]}{f_{\mathrm{p}}[p,i]} \right) \times f_{\mathrm{v}}[p] \qquad [\text{volumen/masa}] \tag{9}$$

gdje je $WF_{prod}[p]$ vodni otisak (volumen/masa) izlaznog proizvoda *p*, $WF_{prod}[u]$ je vodni otisak ulaznog proizvoda *i*, a $WF_{proc}[p]$ vodni otisak procesnog koraka koji pretvara *y* ulaznih proizvoda u *z* izlaznih proizvoda, izražen u količini korištene vode po jedinici proizvoda *p* (volumen/masa). Parametar $f_p[p,i]$ je tzv. udio proizvoda, a parametar $f_v[p]$ udio vrijednosti.

Vodni otisak procesnog koraka dan je kao volumen vode po jedinici procesuiranog proizvoda. Ukoliko je procesni vodni otisak dan po jedinici određenoga ulaznog proizvoda, dani volumen treba podijeliti udjelom proizvoda tog ulaznog proizvoda.

Udio proizvoda izlaznog proizvoda *p* koji je proizveden iz ulaznog proizvoda *i* ($f_p[p,i]$, masa/masa) definiran je kao količina dobivenih izlaznih proizvoda ($w[p]$, masa) po količini ulaznih proizvoda ($w[i]$, masa):

$$f_p[p,i] = \frac{w[p]}{w[i]} \qquad [-] \tag{10}$$

Udio vrijednosti izlaznog proizvoda *p* ($f_v[p]$, monetarna jedinica/monetarna jedinica) definiran je kao omjer tržišne vrijednosti tog proizvoda i zbroja tržišnih vrijednosti svih izlaznih proizvoda (p=1...z) koji su dobiveni od ulaznih proizvoda:

$$f_v[p] = \frac{cijena[p] \times w[p]}{\sum_{p=1}^{z}(cijena[p] \times w[p])} \qquad [-] \tag{11}$$

gdje se *cijena[p]* odnosi na cijenu proizvoda *p* (monetarna jedinica/masa). Nazivnik je zbroj *z* izlaznih proizvoda (p=1...z) koji potječu od ulaznih proizvoda. „Cijena“ je ovdje indikator ekonomske vrijednosti proizvoda, što nije uvijek slučaj, naprimjer kada nema tržišta za taj proizvod ili je tržište iskrivljeno.

U jednostavnom slučaju kada iz jednog ulaznog proizvoda proizvodimo jedan izlazni proizvod, izračun vodnog otiska izlaznog proizvoda postaje prilično jednostavan [1].

$$WF_{prod}[p] = WF_{proc}[p] + \frac{WF_{prod}[i]}{f_p[p,i]} \qquad [\text{volumen/masa}] \tag{12}$$

3.2.3. Primjer izračuna vodnog otiska za rafinirani šećer iz Valladolida (Španjolska)

Pri obradi usjeva u krajnji proizvod (naprimjer iz šećerne repe u rafinirani šećer) dolazi do gubitka na masi zato što se tek dio primarnog proizvoda koristi. Vodni otisak usjeva računa se dijeljenjem vodnog otiska ulaznog proizvoda frakcijom proizvoda. Frakcija proizvoda je količina dobivenog izlaznog proizvoda po količini ulaznog proizvoda. Ako se iz ulaznog proizvoda dobivaju dva ili više različitih proizvoda, vodni otisak ulaznog proizvoda treba se raspodijeliti po tim proizvodima, proporcionalno njihovoj vrijednosti. Frakcija vrijednosti proizvoda je omjer tržišne vrijednosti izlaznog proizvoda i sume tržišnih vrijednosti svih izlaznih proizvoda dobivenih od nekog početnog ulaznog proizvoda.
Vodni otisak rafiniranog šećera procjenjuje se odvojeno za zelenu, plavu i sivu komponentu u dva koraka. U prvom koraku se računa za djelomično centrifugiran sirovi šećer od šećerne repe, a u drugom za rafinirani šećer.

Prvo se proračuna plavi vodni otisak za djelomično centrifugiran sirovi šećer od šećerne repe:

$$WF_{\text{prod}}[p] = \left(WF_{\text{proc}}[p] + \sum_{i=1}^{y} \frac{WF_{\text{prod}}[i]}{f_{\text{p}}[p,i]} \right) \times f_{\text{v}}[p] \qquad [\text{volumen/masa}] \tag{13}$$

Vodni otisak procesa ($WF_{\text{proc}}[p]$) je nula. Plavi vodni otisak ulazne šećerne repe ($WF_{\text{prod}}[i]$) proizvedene u Valladolidu iznosi otprilike 82 m^3/t. Udio proizvoda ($f_{\text{p}}[p,i]$) iznosi 0,14 t/t, a udio vrijednsoti otprilike 0,89 $/$:

$$f_{\text{v}}[p] = \frac{cijena[p] \times w[p]}{\sum_{p=1}^{z}(cijena[p] \times w[p])} \qquad [-] \tag{14}$$

$$f_{\text{v}}[p] = \frac{cijena_{\text{djel.cent.sirovišećer}} \times masa_{\text{djel.cent.sirovišećer}}}{cijena_{\text{pulpašećernerepe}} \times w_{\text{pulpašećernerepe}} + cijena_{\text{melasa}} \times w_{\text{melasa}} + cijena_{\text{djel.cent.sir.še}}} \tag{15}$$

Dobiveni iznos plavog vodnog otiska djelomično centrifugiranog sirovog šećera od šećerne repe je 524 m^3/t.

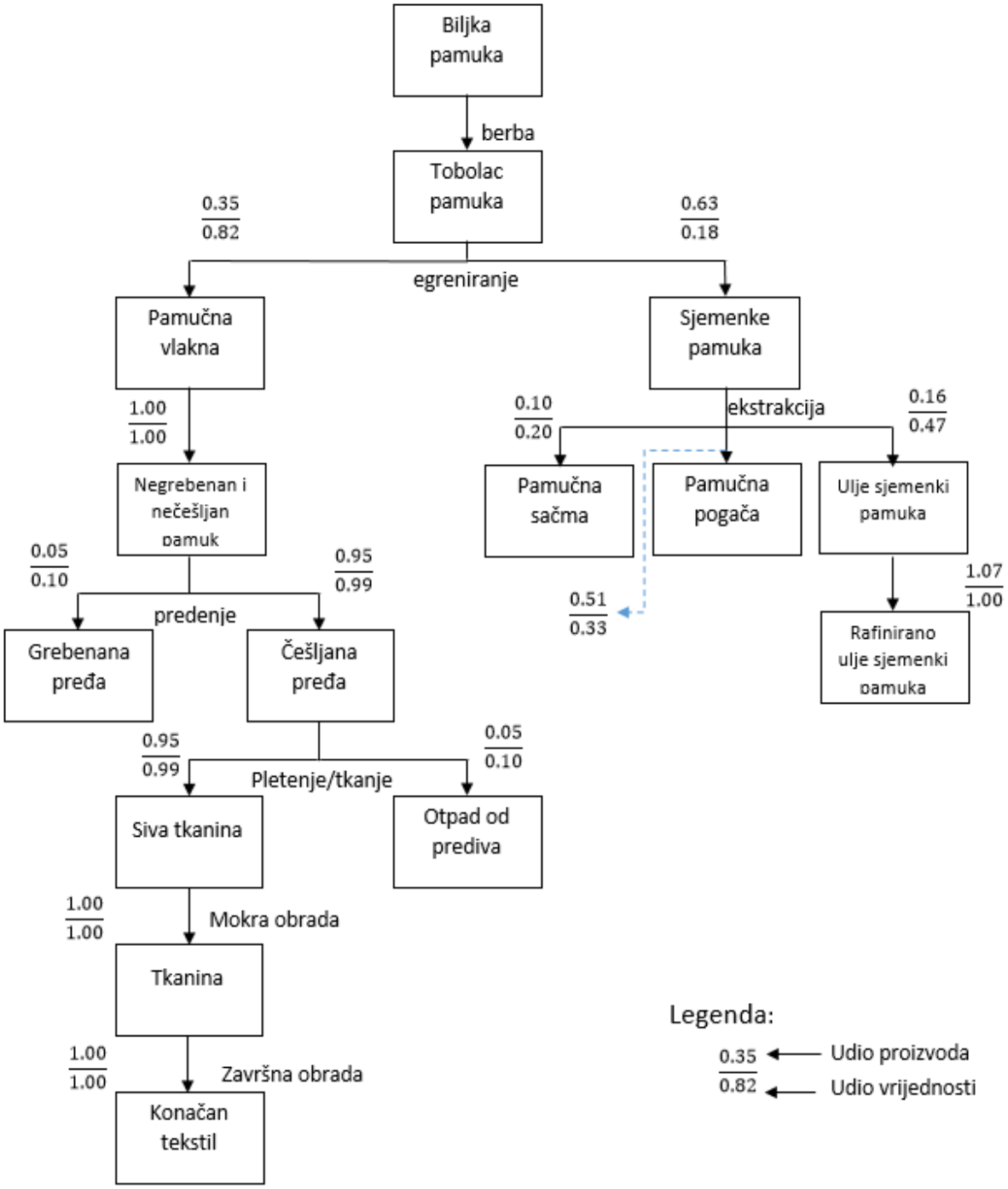
Zatim se računa plavi vodni otisak rafiniranog šećera. Vodni otisak procesa ($WF_{proc}[p]$) opet je nula. Udio proizvoda iznosi 0,92 t/t, a udio vrijednosti ($f_v[p]$) 1 \$/\$ budući da je samo jedan izlazni proizvod.

Plavi vodni otisak rafiniranog šećera proizvedenog u Valladolidu je 570 m^3/t. Zeleni i sivi vodni otisak računaju se na sličan način [1].

Tablica 1. Zeleni, plavi i sivi vodni otisak šećerne repe u Valladolidu (m3/t) [1]

Procesni vodni otisak šećerne repe (m^3/t)				**Procesni vodni otisak rafiniranog šećera (m^3/t)**			
$WF_{proc,zeleni}$	$WF_{proc,\ plavi}$	$WF_{proc,sivi}$	WF_{ukupno}	$WF_{proc,zeleni}$	$WF_{proc,\ plavi}$	$WF_{proc,sivi}$	WF_{ukupno}
15	82	22	120	107	570	152	829

3.2.4. Primjer izračuna vodnog otiska za pamučnu majicu



Slika 4. Proizvodni lanac pamuka [2]

Pamučna majica izrađena je od pamučne tkanine koja je izrađena od češljane ili grebenane pređe (vlakna velike duljine) koja potječe od pamučnih vlakana koji dolaze iz tobolca pamuka koji se uzgaja na poljima pamuka. Prije nego pamučna tkanina dospije do potrošača, ona prolazi kroz niz međuprocesa i međuproizvoda. Proces započinje odvajanjem vlakana iz tobolca (iz 1000 kg tobolaca dobije se tek 350 kg pamučnih vlakana). Nakon predenja i tkanja dobiva se siva tkanina (iz 1000 kg pamučnih vlakana dobije se 900 kg sive tkanine) koja prolazi kroz proces izbjeljivanja i bojanja nakon čega se dobije finalna tiskana pamučna tkanina. Potrebno je oko 30 m^3/t vode za izbjeljivanje, 140 m^3/t za bojanje i 190 m^3/t za tiskanje.

Prosječni vodni otisak tiskanoga pamuka (npr. traperica mase 1 kg) je 11000 l/kg. Budući da je masa prosječne pamučne majice 250 g, prosječni vodni otisak jedne pamučne majice je 2700 l. Od ovog ukupnog volumena vode 45% otpada na vodu za navodnavanje koja je evaporirala iz biljke pamuka; 41% čini kišnica koja je evaporirala s polja pamuka tijekom perioda rasta; a 14% je voda potrebna za raspršivanje tokova otpadnih voda koji su rezultat korištenja umjetnih gnojiva na polju i kemikalija korištenih u tekstilnoj industriji. Na svjetskoj razini proizvodnja pamuka evaporira 210 milijardi kubičnih metara vode i zagađuje 50 milijardi kubičnih metara vode. To je 3.5% ukupne vode korištene u svijetu za biljnu proizvodnju [2].

3.2.5. Vodni otisak energije iz biomase

Općeprihvaćeno mišljenje je da su emisije stakleničkih plinova, poput CO_2 iz fosilnih goriva, odgovorne za antropogene utjecaje na klimatski sustav. Intenzivno se promovira uporaba izvora energije poput biomase koji su navodno CO_2 neutralni. Prijelaz s fosilnih biogoriva na biomasu, u kombinaciji s porastom potrebe za hranom, rezultira dodatnim pritiskom na izvore slatke vode.

Kao što je vidljivo iz Tablice 2., vodni otisak biogoriva znatno je veći od vodnog otiska fosilnih goriva. Vodni otisak obnovljivih izvora energije znatno se razlikuje za svaki od izvora. S obzirom prosječnu upotrebu energije po glavi stanovnika na Zapadu (100 GJ/capita/god), mješavina ugljena, nafte, prirodnog plina i uranija zahtijeva oko 35 m^3/capita/god. Za proizvodnju iste količine energije iz biomase u visokoproduktivnom poljoprivrednom sustavu poput Nizozemske vodni otisak je 2420 m^3. Vodni otisak biomase veći je 70 do 400 puta u odnosu na ostale primarne izvore energije (izuzevši hidroenergiju) [7].

Tablica 2. Vodni otisak primarnih izvora energije [7]

	Prosječni vodni otisak (m^3/GJ)
Primarni izvori energije (izuzev biomase i hidroenergije)	
Energija vjetra	0,0
Nuklearna energija	0,1
Prirodni plin	0,1
Ugljen	0,2
Solarna toplinska energija	0,3
Nafta	1,1
Primarni izvori energije: hidroenergija i biomasa	
Hidroenergija	22
Biomasa Nizozemska (prosjek)	24
Biomasa SAD (prosjek)	58
Biomasa Brazil (prosjek)	61
Biomasa Zimbabve (prosjek)	143
Biomasa (prosjek za Nizozemsku, SAD, Brazil, Zimbabve)	72

3.3. Vodni otisak potrošača ili grupe potrošača

Vodni otisak potrošača je ukupni volumen potrošene i zagađene slatke vode za proizvodnju dobara i usluga koje koristi potrošač. Vodni otisak grupe potrošača jednak je zbroju vodnih otisaka pojedinih potrošača.

Vodni otisak potrošača (WF_{potr}) računa se zbrajanjem direktnog i indirektnog vodnog otiska pojedinca:

$$WF_{\text{potr}} = WF_{\text{potr,dir}} + WF_{\text{potr,indir}} \qquad \text{[volumen/vrijeme]} \tag{16}$$

Direktni vodni otisak odnosi se na potrošnju i zagađenje vode koje je povezana s korištenjem vode u domaćinstvu ili vrtu. Indirektni vodni otisak odnosi se na potrošnju i zagađenje vode koja može biti povezana s proizvodnjom usluga i dobara koje konzumira potrošač. Podrazumijeva proizvodnju odjeće, hrane, papira i energije. Indirektni vodni otisak računa se množenjem svih proizvoda s njihovim pripadajućim vodnim otiscima:

$$WF_{\text{potr,indir}} = \sum_{p} \left(C[p] \times WF^{*}_{\text{prod}}[p] \right) \qquad \text{[volumen/vrijeme]} \tag{17}$$

C[p] je potrošnja proizvoda *p* (jedinice proizvoda/vrijeme), a $WF^{*}_{\text{prod}}[p]$ vodni otisak toga proizvoda (volumen vode/jedinica proizvoda).

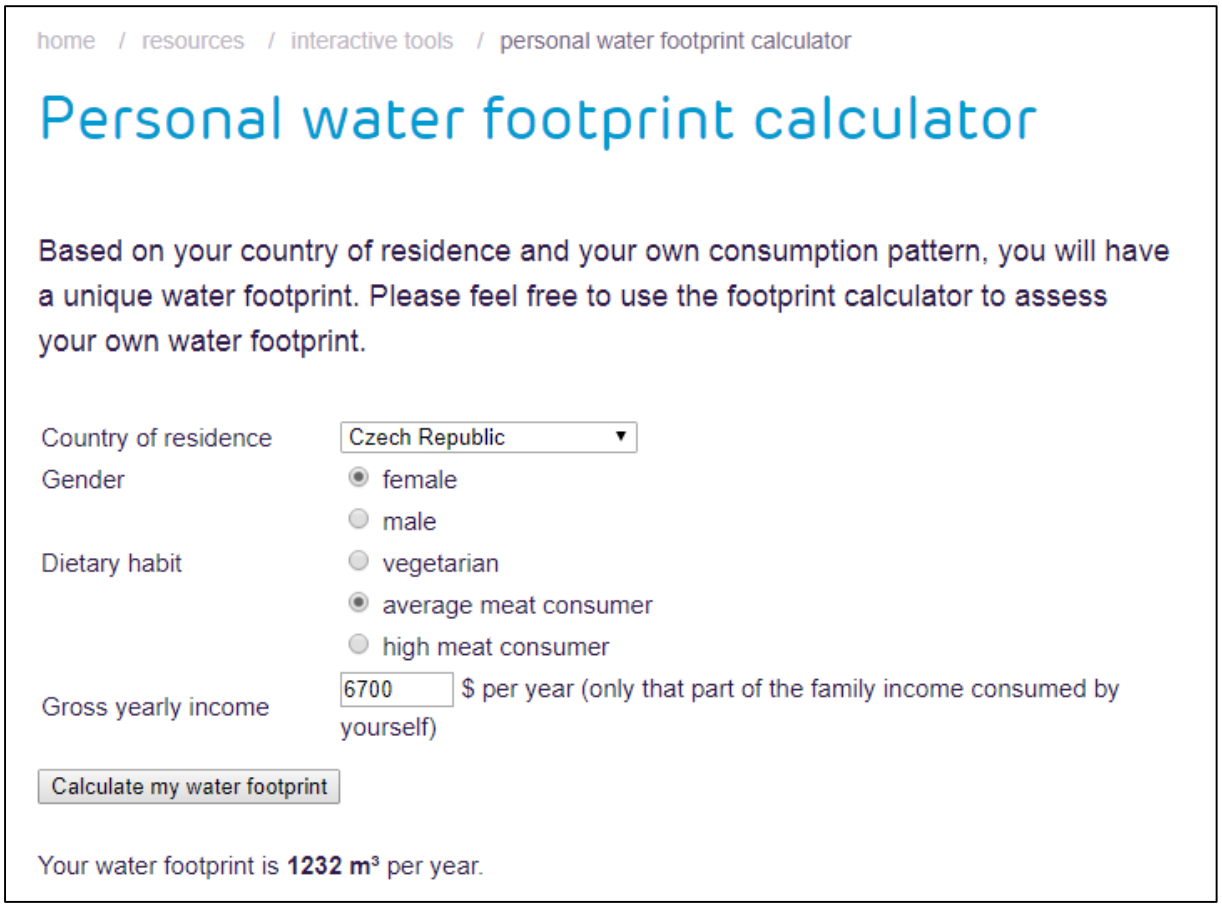
Ukupni volumen potrošenih proizvoda *p* uglavnom potječe s različitih mjesta *x*. Prosječni vodni otisak potrošenog proizvoda *p* računa se kao:

$$WF^{*}_{\text{prod}}[p] = \frac{\sum_{\text{x}} \left(C[x,p] \times WF_{\text{prod}}[x,p] \right)}{\sum_{\text{x}} C[x,p]} \qquad \text{[volumen/jedinica proizvoda]} \tag{18}$$

gdje je *C[x,p]* potrošnja proizvoda *p* koji potječe s mjesta *x* (jednica proizvoda/vrijeme), a $WF^{*}_{\text{prod}}[x,p]$ vodni otisak proizvoda *p* koji potječe s mjesta *x* (volumen vode/jedinica proizvoda) [1].

Vodni otisak potrošača ili poduzeća izražava se kao volumen vode po jedinici vremena. Može biti izražen kao volumen vode po novčanoj jedinici kada je vodni otisak po jedinici vremena podijeljen dohotkom (za potrošače) ili prometom (za poduzeća). Vodni otisak zajednice potrošača može biti izražen kao volumen vode po jedinici vremena po stanovniku.

Vodni otisak pojedinca može se izračunati i pomoću online kalkulatora vodnog otiska.



Slika 5. Primjer izračuna vodnog otiska pomoću pomoću kalkulatora vodnog otiska [4]

3.4. Vodni otisak unutar geografski određenog područja

Vodni otisak unutar geografski određenog područja predstavlja ukupnu potrošnju i zagađanje slatke vode unutar granica određenog područja. Od iznimne je važnosti jasno definirati granice razmatranog područja. Područje može biti sliv, riječno korito, provincija, država ili bilo koja druga hidrološka ili administrativna prostorna jedinica.

Računa se kao zbroj procesnih vodnih otisaka svih procesa unutar područja koji koriste vodu:

$$WF_{\text{podr}} = \sum_{q} WF_{\text{proc}}[q] \qquad [\text{volumen/vrijeme}] \tag{19}$$

gdje je $WF_{\text{proc}}[q]$ vodni otisak procesa q unutar geografski određenog područja.

Saldo virtualne vode unutar geografski određenog područja tijekom određenog vremenskog razdoblja definirana je kao neto uvoz virtualne vode tijekom ovog perioda ($V_{\text{u,net}}$), što je jednako bruto uvozu virtualne vode (V_{u}) umanjenom za bruto izvoz (V_{e}):

$$V_{\text{u,net}} = V_{\text{i}} - V_{\text{e}} \quad [\text{volumen/vrijeme}] \tag{20}$$

Pozitivan saldo ukazuje na neto ulazni tok virtualne vode u područje iz drugih područja. Negativni saldo znači neto izlazni tok virtualne vode. Bruto uvoz virtualne vode je zanimljiv iz razloga što uvoz virtualne vode štedi vodu unutar razmatranog područja. Bruto izvoz virtualne vode odnosi se na vodni otisak unutar područja koji je povezan s potrošnjom ljudi koji žive izvan područja [1].

3.5. Izračun nacionalnog vodnog otiska

Ukupni nacionalni vodni otisak je zbroj vodnog otiska nacionalne potrošnje i vodnog otiska unutar nacije.

Vodni otisak potrošača unutar nacije ($WF_{\text{potr,nac}}$) ima dvije komponente: unutarnji vodni otisak i vanjski vodni otisak:

$$WF_{potr,nac} = WF_{potr,nac,un} + WF_{potr,nac,vanj} \qquad [\text{volumen/vrijeme}] \tag{21}$$

Unutarnji vodni otisak nacionalne potrošnje ($WF_{\text{potr,nac,un}}$) definiran je kao upotreba kućne vode za proizvodnju dobara i usluga koje troši populacija nacije. To je suma vodnih otisaka unutar nacije ($WF_{\text{podr,nac}}$) minus volumen virtualne vode izvezene u druge nacije koja je povezana s izvozom proizvoda proizvedenih s domaćim vodnim resursima ($Vi_{\text{,d}}$):

$$WF_{\text{potr,nac,un}} = WF_{\text{podr,nac}} - V_{i,\text{d}} \qquad [\text{volumen/vrijeme}] \tag{22}$$

Vanjski vodni otisak nacionalne potrošnje ($WF_{\text{potr,nac,vanj}}$) definiran je kao volumen vode korišten u drugoj naciji za proizvodnju dobara i usluga potrošenih od strane populacije razmatrane nacije. Jednak je uvozu virtualne vode (V_{u}) minus volumen virtualne vode izvezene u druge nacije kao rezultat ponovnog izvoza uvezenih proizvoda ($V_{\text{i,r}}$):

$$WF_{\text{potr,nac,vanj}} = V_u - V_{i,\text{r}} \qquad [\text{volumen/vrijeme}] \qquad \textbf{(23)}$$

Izvoz virtualne vode iz nacije (V_{i}) sastoji se od izvezene vode domaćeg porijekla ($V_{\text{e,d}}$) i ponovno izvezene vode stranog porijekla ($V_{\text{i,r}}$):

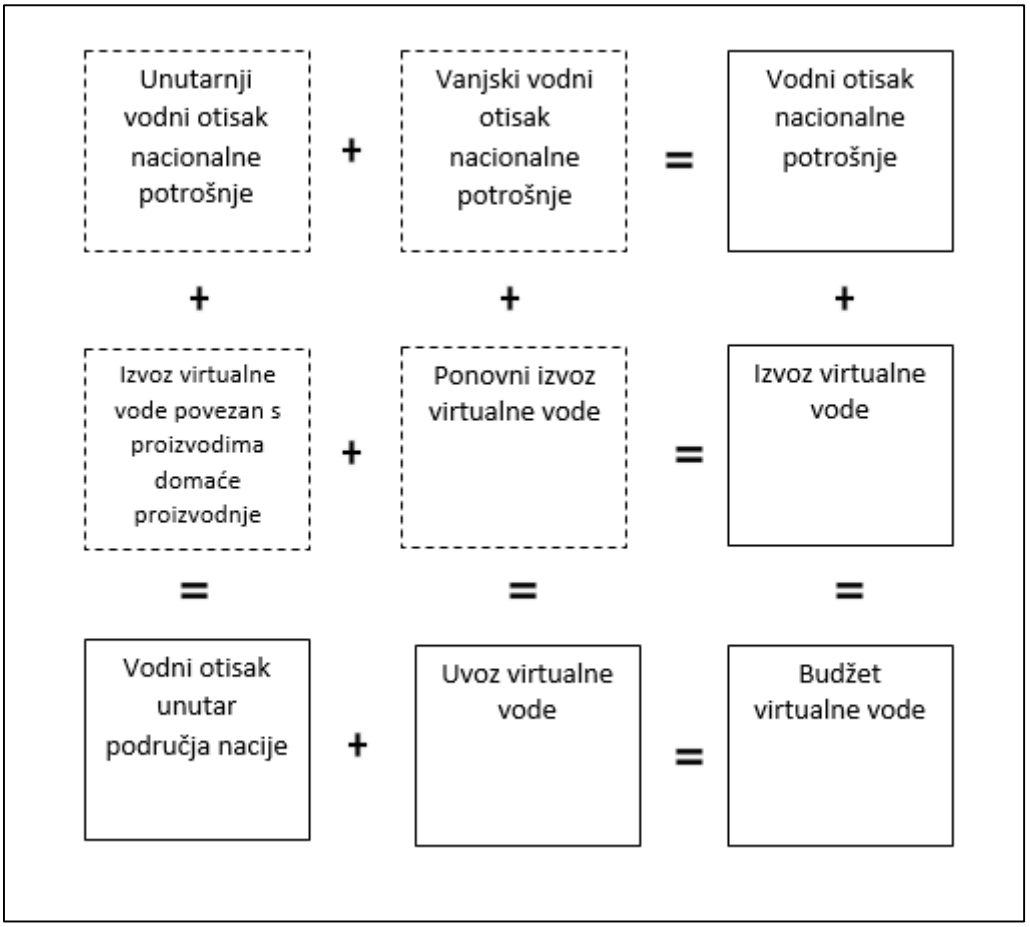
$$V_i = V_{\text{i,d}} + V_{i,\text{r}} \qquad [\text{volumen/vrijeme}] \qquad \textbf{(24)}$$

Uvoz virtualne vode djelomično će biti potrošen (vanjski vodni otisak nacionalne potrošnje ($WF_{\text{potr,nac,vanj}}$), a djelomično ponovno izvezen ($V_{\text{i,r}}$):

$$V_{\text{u}} = WF_{\text{potr,nac,vanj}} + V_{\text{i,r}} \qquad [\text{volumen/vrijeme}] \qquad \textbf{(25)}$$

Zbroj V_{u} i $WF_{\text{podr,nac}}$ jednak je zbroju V_{i} i $WF_{\text{potr,nac}}$. Ovaj zbroj naziva se nacionalni budžet virtualne vode (V_b):

$$V_b = V_u + WF_{podr,nac} = V_e + WF_{potr,nac} \qquad [\text{volumen/vrijeme}] \qquad \textbf{(26)}$$



Slika 6. Shema izračuna nacionalnog vodnog otiska, prema [1]

3.5.1. Izračun vodnog otiska unutar nacije

Vodni otisak unutar nacije ($WF_{\text{podr,nac}}$, volumen/vrijeme) je ukupni volumen slatke vode koji je potrošen ili zagađen unutar teritorija nacije. Računa se kao:

$$WF_{\text{podr,nac}} = \sum_{q} WF_{\text{proc}}[q] \qquad [\text{volumen/vrijeme}] \tag{27}$$

gdje se $WF_{\text{proc}}[q]$ odnosi na vodni otisak procesa q unutar nacije koja troši ili zagađuje vodu. Jednadžbom se zbrajaju svi procesi potrošnje i zagađenja vode unutar nacije [1].

3.5.2. Izračun vodnog otiska nacionalne potrošnje

Vodni otisak nacionalne potrošnje ($WF_{\text{potr,nac}}$) može se izračunati na dva načina: pristup odozgo prema dolje (top-down pristup) i pristup odozdo prema gore (bottom-up pristup).

3.5.2.1. Pristup odozgo prema dolje

Vodni otisak nacionalne potrošnje ($WF_{\text{potr,nac}}$, volumen/vrijeme) računa se kao zbroj vodnog otiska unutar nacije ($WF_{\text{podr,nac}}$, volumen/vrijeme) i razlike uvezene (V_{u}) i izvezene (V_{i}) virtualne vode:

$$WF_{\text{potr,nac}} = WF_{\text{podr,nac}} + V_{\text{u}} - V_i \qquad [\text{volumen/vrijeme}] \qquad \textbf{(28)}$$

Bruto uvoz virtualne vode računa se kao:

$$V_{\text{i}} = \sum_{n_i} \sum_{p} \left(T_u[n_{\text{i}}, p] \times WF_{\text{prod}}[n_{\text{e}}, p] \right) \qquad [\text{volumen/vrijeme}] \qquad \textbf{(29)}$$

gdje je $T_u[n_i,p]$ predstavlja uvezenu količinu proizvoda p iz zemlje izvoznice n_{i} (jedinice proizvoda/vrijeme), a $WF_{\text{prod}}[n_i,p]$ vodni otisak proizvoda p u zemlji izvoznici n_{i} (volumen/jedinica proizvoda).

Bruto izvoz virtualne vode računa se kao:

$$V_{\text{i}} = \sum_{p} T_{\text{i}}[p] \times WF^{*}_{\text{prod}}[p] \qquad [\text{volumen/vrijeme}] \qquad \textbf{(30)}$$

gdje $T_i[p]$ predstavlja količinu proizvoda p izvezenu iz nacije (jedinice proizvoda/vrijeme), a $WF^{*}_{\text{prod}}[p]$ prosječni vodni otisak proizvoda p (volumen/jedinica proizvoda). Potonje se računa kao:

$$WF^*_{\text{prod}}[p] = \frac{P[p] \times WF_{\text{prod}}[p] + \sum_{n_e}\left(T_u[n_i,p] \times WF_{\text{prod}}[n_i,p]\right)}{P[p] + \sum_{n_i} T_i[n_i,p]} \quad \left[\frac{\text{volumen}}{\text{jedinica proizvoda}}\right] \qquad \textbf{(31)}$$

gdje je *P[p]* nacionalna proizvodna količina proizvoda *p*, $T_u[n_i,p]$ uvezena količina proizvoda *p* iz zemlje izvoznice n_i, $WF_{prod}[p]$ vodni otisak proizvoda *p* kada je proizveden u razmatranoj naciji i $WF_{prod}[n_i,p]$ vodni otisak proizvoda *p* u zemlji izvoznici n_i [1].

3.5.2.2. Pristup odozdo prema gore

Ovaj se pristup temelji na metodi računanja vodnog otiska grupe potrošača. Grupa potrošača sastoji se stanovnika nacije. Vodni otisak nacionalne potrošnje računa se zbrajanjem direktnih i indirektnih vodnih otisaka unutar nacije:

$$WF_{\text{potr,nac}} = WF_{\text{potr,nac,dir}} + WF_{\text{potr,nac,indir}} \qquad [\text{volumen/vrijeme}] \qquad \textbf{(32)}$$

Indirektni vodni otisak računa se množenjem svih proizvoda konzumiranih unutar nacije s njihovim pripadajućim vodnim otiscima:

$$WF_{\text{potr,nac,indir}} = \sum_p \left(C[p] \times WF^*_{\text{prod}}[p]\right) \qquad [\text{volumen/vrijeme}] \qquad \textbf{(33)}$$

C[p] je potrošnja proizvoda *p* od strane potrošača unutar nacije (jedinice proizvoda/vrijeme), $WF^*_{prod}[p]$ vodni otisak toga proizvoda (volumen/jedinica proizvoda). Volumen proizvoda p konzumiranih unutar nacije djelomično potječe iz same nacije, a djelomično iz drugih nacija. Prosječni vodni otisak proizvoda *p* potrošenih unutar nacije procjenjuje se primjenjujući istu pretpostavku koja je korištena u pristupu odozgo prema dolje:

$$WF^*_{prod}[p] = \frac{P[p] \times WF_{\text{prod}}[p] + \sum_{n_i}\left(T_{\text{u}}[n_{\text{i}},p] \times WF_{\text{prod}}[n_{\text{i}},p]\right)}{P[p] + \sum_{n_{\text{i}}} T_{\text{u}}[n_{\text{i}},p]} \quad \left[\frac{\text{volumen}}{\text{jedinica proizvoda}}\right] \qquad \textbf{(34)}$$

Pretpostavka je da potrošnja rezultat domaće proizvodnje i uvoza [1].

3.5.2.3. Vanjski vodni otisak nacionalne potrošnje

Vanjski vodni otisak nacionalne potrošnje ($WF_{\text{potr,nac,vanj}}$) računa se kao:

$$WF_{\text{potr,nac,vanj}} = \frac{WF_{\text{potr,nac}}}{WF_{\text{podr,nac}} + V_{\text{u}}} \times V_{\text{u}} \qquad [\text{volumen/vrijeme}] \qquad \textbf{(35)}$$

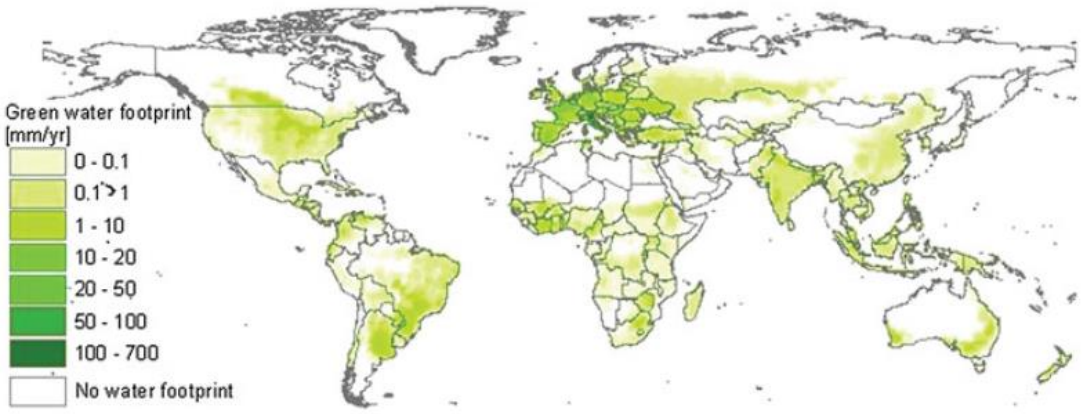
Ova jednadžba je primjenjiva neovisno o vrsti poljoprivrednog i industrijalnog proizvoda. Njome se pokazuje da samo dio bruto uvoza virtualne vode može biti vanjski vodni otisak nacionalne potrošnje i da je taj dio jednak dijelu budžeta virtualne vode (zbroj vodnog otiska unutar nacije i uvoza virtualne vode) koji priprada nacionalnoj potrošnji. Drugi dio budžeta virtualne vode je izvezen i stoga nije dio vodnog otiska nacionalne potrošnje.

Vanjski vodni otisak nacionalne potrošnje može se procijeniti na temelju zemlje izvoznice n_e i proizvoda p pretpostavljajući da se nacionalni omjer između vanjskog vodnog otiska i ukupno uvezene virtualne vode odnosi na sve partnerske nacije i uvezene proizvode [1]:

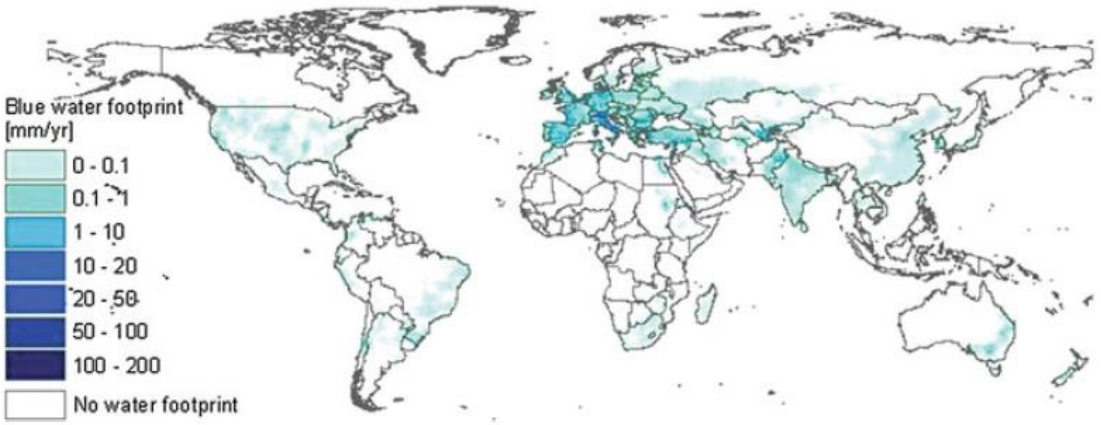
$$WF_{\text{potr,nac,vanj}}[n_i, p] = \frac{WF_{\text{potr,nac,vanj}}}{V_{\text{u}}} \times V_{\text{u}}[n_i, p] \qquad [\text{volumen/vrijeme}] \qquad \textbf{(36)}$$

3.5.2.4. Vodni otisak talijanske potrošnje

Prosječni vodni otisak talijanske potrošnje je 6300 l po danu po osobi, što je 1.65 puta veće od od svjetskog prosjeka. Tek 4 % vodnog otiska talijanske potrošnje se odnosi na korištenje vode u domaćinstvu što je u skladu sa svjetskim prilikama. Oko 96 % vodnog otiska je „nevidljivo“ potrošaču: povezano je s potrošnjom i zagađenjem vode koja stoji iza proizvoda koje potrošači kupuju u supermarketima ili drugdje. Oko 89 % talijanskog vodnog otiska rezultat je poljoprivrednih, a 7 % industrijskih proizvoda. Gotovo polovica otpada na proizvode životinjskog porijekla. Oko 60 % vodnog otiska talijanske potrošnje leži izvan granica zemlje. Sljedeće slike prikazuju zeleni, plavi, sivi i ukupni vodni otisak talijanske potrošnje [2].

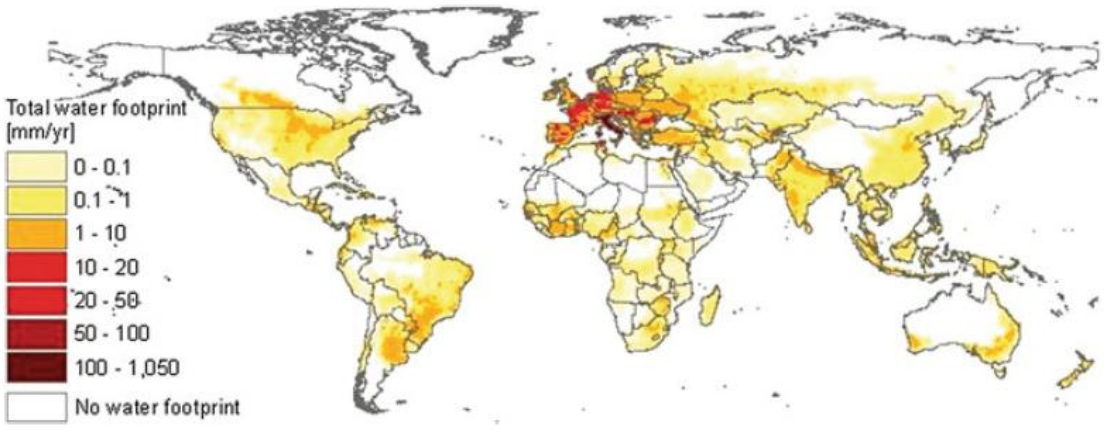


Slika 7. Globalni zeleni vodni otisak talijanske potrošnje (1996. - 2005. g.), preuzeto iz [2]



Slika 8. Globalni plavi vodni otisak talijanske potrošnje (1996. – 2005. g.), preuzeto iz [2]

Slika 9. Globalni sivi vodni otisak talijanske potrošnje (1996. – 2005. g.), preuzeto iz [2]



Slika 10. Ukupni vodni otisak talijanske potrošnje (1996. – 2005. g.), preuzeto iz [2]

3.5.3. Ušteda vode povezana s trgovinom

Nacionalna ušteda vode S_n (volumen/vrijeme) rezultat je trgovine proizvodom p:

$$S_{\mathrm{n}}[p] = (T_{\mathrm{u}}[p] - T_{\mathrm{i}}[p]) \times WF_{\mathrm{prod}}[p] \qquad [\text{volumen}/\text{vrijeme}] \tag{37}$$

gdje je $WF_{\mathrm{prod}}[p]$ vodni otisak (volumen/jedinica proizvoda) proizvoda p u razmatranoj naciji, $T_{\mathrm{u}}[p]$ je volumen uvezenog proizvoda p (jedinica proizvoda/vrijeme), a $T_i[p]$ je volumen izvezenog proizvoda (jedinica proizvoda/vrijeme). S_n može biti i negativnog predznaka, tada govorimo o gubicima, a ne uštedi vode.

Globalna ušteda vode S_g (volumen/vrijeme) kroz trgovanje proizvodom p od zemlje izvoznice n_{i} do zemlje uvoznice n_i je:

$$S_g[n_e, n_i, p] = T[n_e, n_i, p] \times \left(WF_{prod}[n_i, p] - WF_{prod}[n_e, p]\right) \qquad [\text{volumen}/\text{vrijeme}] \tag{38}$$

gdje je T volumen trgovine proizvoda *p* (jedinice proizvoda/vrijeme) između dvije nacije. Stoga je globalna ušteda razlika produktivnosti između trgovačkih partnera.
Ukupna globalna ušteda vode može se dobiti zbrajanjem globalne uštede svih međunarodnih trgovinskih tokova. Prema definiciji, ukupna globalna ušteda vode jednaka je zbroju nacionalnih ušteda svih nacija [1].

3.5.4. Nacionalna vodna ovisnost u odnosu na nacionalnu vodnu samodostatnost

Virtualna vodna ovisnost (*WD, %*) nacije je omjer vanjskog i ukupnog vodnog otiska nacionalne potrošnje:

$$WD = \frac{WF_{\text{potr,nac,vanj}}}{WF_{\text{potr,nac}}} \times 100 \qquad [\%] \tag{39}$$

Nacionalna vodna samodostatnost (*WSS, %*) je omjer unutarnjeg i ukupnog vodnog otiska nacionalne potrošnje:

$$WSS = \frac{WF_{potr,\text{nac,un}}}{WF_{potr,un}} \times 100 \qquad [\%] \tag{40}$$

Samodostatnost je 100% kada je sva potrebna voda dostupna i zaista uzeta unutar granica teritorija nacije. Vodna samodostatnost približava se nuli ukoliko su nacionalni vodni zahtjevi teško ispunjeni bruto iznosom uvezene virtualne vode. Drugim riječima, nacija ima relativno velik vanjski vodni otisak u usporedbi s njenim unutarnjim vodnim otiskom.
I vodnu samodostatnost i vodnu ovisnost najbolje je računati na godišnjoj bazi ili kao prosječnu vrijednost tijekom godina.

4. PROCJENA ODRŽIVOSTI VODNOG OTISKA

Vodni otisak je indikator prisvajanja slatke vode (m^3/god) [1]. Razumijevanje posljedica ljudskog prisvajanje slatke vode zahtijeva analizu odnosa između količine vode potrebne za ljudske potrebe i količine dostupne s obzirom na vrijeme i lokaciju. Termin „vodni otisak“ (WF, eng. *water footprint*) razvijen je u istraživačkom kontekstu, kako bi se istražile skrivene veze između ljudskog potrošnje i korištenja vode i između svjetske trgovine i upravljanja vodnim resursima [5]. Razvijen je analogno ekološkom otisku koji je indikator korištenja biološki produktivnog prostora (ha). Kako bi se dobila ideja o značenju veličine vodnog otiska, potrebno je usporediti vodni otisak sa dostupnim izvorima slatke vode (m^3/god) na isti način kao što je potrebno usporediti ekološki otisak s dostupnim biološkim produktivnim prostorom (ha).

Održivost ima različite dimenzije (ekološka, socijalna, ekonomska), utjecaje i može biti formulirana na različitim razinama (primarni i sekundarni utjecaji) i za različite vodne otiske (zeleni, plavi, sivi). S geografske točke gledišta vodni otisak unutar geografski određenog područja nije održiv ako su zahtjevi ekološkog toka ili standardi kakvoće ambijentalne vode u slivu ugroženi ili ako se alokacija vode unutar sliva smatra nepravednom ili nedovoljnom. Održivost vodnog otiska procesa ovisi o dva kriterija: geografski kontekst i karakteristike samog procesa. Održivost vodnog otiska proizvoda ovisi o održivosti vodnih otisaka procesa koji su dio proizvodnog sistema za izradu tog proizvoda. Budući da je vodni otisak proizvođača jednak zbroju vodnih otisaka njegovih proizvoda, održivost vodnog otiska proizvođača ovisi o održivosti vodnih otisaka njegovih proizvoda. Konačno, održivost vodnog otiska potrošača ovisi o održivosti vodnih otisaka proizvoda koje je potrošač konzumirao. Tu također treba uzeti u obzir i je li vodni otisak potrošača veći ili manji udjela koji mu pripada s obzirom na ograničenja vodnog otiska čovječanstva. Održivost vodnog otiska grupe potrošača (npr. unutar nacije) ovisi o održivosti vodnog otiska svakog pojedinog potrošača [1].

4.1. Održivost vodnog otiska procesa

Održivost vodnog otiska procesa ovisi o dva kriterija, prema [1]:

- Geografski kontekst: vodni otisak procesa je neodrživ ukoliko se proces nalazi u žarištu, tj. u određenom slivu u određenom vremenu u godini kada je ukupni vodni otisak neodrživ s ekološkog, socijalnog ili ekonomskog gledišta.
- Karakteristike samog procesa: vodni otisak procesa je neodrživ sam po sebi (neovisno o geografskom kontekstu) ako vodni otisak procesa može biti smanjen ili u potpunosti izbjegnut (pri prihvatljivim društvenim troškovima).

Oba kriterija treba evaluirati odvojeno za zeleni, plavi i sivi vodni otisak. Prema prvom kriteriju, ako vodni otisak procesa doprinosu žarištu gdje je ukupni vodni otisak neodrživ, vodni otisak određenog procesa također je neodrživ. Sve dok je ukupni vodni otisak u određenom vremenskom razdoblju neodrživ, svaki, pa i najmanji, doprinos je neodrživ. Ova teza se temelji na prepoznavanju zajedničkog rizika i odgovornosti. Ako je ukupni vodni otisak u slivu neodrživ zbog, recimo, plavog vodnog otiska, nije moguće izdvojiti tu jednu komponentu jer je ukupni vodni otisak taj koji stvara problem. Kada vodni otisak doprinosi žarištu on je neodrživ jer doprinosi neodrživoj situaciji.

Većina oblika zagađenja je nepotrebna i moguće ih je izbjeći. Stoga su gotovi svi procesi sa sivim vodnim otiskom neodrživi. Mnogi procesi s plavim vodnim otiskom su također neodrživi. U industriji plavi vodni otisak jedino nije moguće izbjeći jedino kod proizvoda koji u sebi drže vodu (npr. sokovi). U poljoprivredi plavi vodni otisak je neodrživ kada se koriste neučinkovite tehnike navodnjavanja koje rezultiraju bespotrebnim dodatnim isparavanjem.

Nepotrebno veliki zeleni i plavi vodni otisak u vodom bogatim područjima izraz su niske vodne produktivnosti, tj. niskog obujma proizvodnje po jedinici potrošnje vode. Ovo je neodrživo ako uzmemo u obzir da vodna produktivnost u vodom bogatim područjima treba biti povećana kako bi se smanjila potreba za proizvodnjom vodno intenzivnih proizvoda u vodom siromašnim područjima.

Nažalost, još uvijek ne postoji kriterij po kojem bi se odredilo je li proces sam po sebi neodrživ. Stoga se treba osloniti na moć rasuđivanja stručnjaka na temelju dostupnih podataka. Potrebno je odrediti svjetske referentne točke kako bi se vodni otisak određenog procesa mogao usporediti sa svjetskom referentnom točkom za taj proces. Referentna točka bi trebala biti pokazitelj „razumnog“ maksimalnog vodnog otiska po jedinici izlaznog proizvoda proizašlog iz procesa, izraženog posebno za zeleni, plavi i sivi vodni otisak.

4.2. Održivost vodnog otiska proizvoda

Ukupni vodni otisak proizvoda sastoji se od puno različitih komponenti od kojih se svaka odnosi na specifični proces i pojavljuje se u specifičnom vremenskom razdoblju u specifičnom slivu. Svaka komponenta vodnog otiska proizvoda može se procijeniti na temelju dva kriterija:

1. Je li vodni otisak komponente lociran u slivu i vremenskom razdoblju godine koje je identificirano kao žarište?
2. Je li vodni otisak procesa sam po sebi neodrživ, tj. može li se vodni otisak u potpunosti izbjeći ili bar smanjiti pri prihvatljivim društveni troškovima?

Postupak je potrebno provesti posebno za zeleni, plavi i sivi vodni otisak. Kao i kod zasebnih procesa, potrebno je odrediti referentne točke kako bi bilo moguće usporediti vodni otisak određenog proizvoda s njegovom svjetskom referentom točkom. Ona predstavlja razumni maksimalni vodni otisak po jedinici proizvoda.

5. FORMULACIJA POSTUPANJA S VODOM

Potrošači, proizvođači, ulagači i vlade zajedno dijele odgovornost prema smanjenju vodnog otiska. Smanjenje vodnog otiska može se postići na dva načina. Prvi je da u proizvodnom lancu zamijenimo jednu tehniku drugom koja ima manji ili nulti vodni otisak, a drugi je da u potpunosti izbjegnemo korištenje određenog sastojka ili čak cijelog proizvoda. Primjeri unaprjeđenja proizvodne tehnologije su: zamjena navodnjavanja kišenjem (prskalicama) sustavom navodnjavanja kapanjem (kao po kap), zamjena konvencionalne ekološkom proizvodnjom i zamjena hlađenja vodom u otvorenom sustavu hlađenjem vodom u zatvorenom sustavu. Primjeri izbjegavanja su: zamjena mesnog obroka vegetarijanskim, izbjegavanje primjene toksičnih kemikalija koje kroz kanalizaciju završe u podzemnim ili površinskim vodama i izbjegavanje korištenja vodno intenzivnih biogoriva. Smanjenje izbjegavanjem je općenito fundamentalnije jer izbjegavanje često zahtijeva preispitivanje same proizvodnje i potrošnje, dok nam unaprjeđena potrošnja omogućava da sve bude kao i prije, samo ekološki učinkovitije.

Vodni otisak specifičnog procesa je neodrživ i treba ga smanjiti u slučaju kada vodni otisak proces doprinosi žarištu ili kada se vodni otisak može smanjiti ili u potpunosti izbjeći, neovisno o geografskom položaju. Drugi kriterij podrazumijeva da se vodni otisci trebaju smanjiti i u vodom obilnim područjima, ne kako bi se riješili lokalni problemi s vodom u tim područjima, već kako bi se doprinijelo održivijem, poštenijem i učinkovitijem korištenju vode na globalnoj razini.

Glavna briga bi trebala biti vodni otisak čovječanstva. Činjenica da je ovaj otisak prevelik se manifestira u žarišnim područjima, gdje su lokalni problemi iscrpljivanja i zagađivanja vode vidljivi tijekom određenih dijelova godine. Očita je potreba za smanjenjem vodnog otiska u tim područjima. Međutim, rješenje problema u područjima siromašnim vodom uvelike leži u vodom bogatim područjima. Tamo je vodna učinkovitost nerijetko niska u poljoprivredi temeljenoj na kiši (veliki zeleni vodni otisak). Povećanje vodne učinkovitosti (smanjenje zelenog vodnog otiska) u poljoprivredi koja se temelji na kišnici u vodom obilnim područjima povećava globalnu proizvodnju te stoga smanjuje potrebu za vodno intenzivnim proizvodima iz vodom siromašnih područja. Time se pomaže smanjenju pritiska na izvore plave vode u vodom siromšanim područjima. Ipak, prioritet bi se mogao dati smanjenju vodnog otiska u

žarišnim područjima jer tako djelujemo i lokalno i globalno dok se pri smanjenju u nežarišnim područjima djeluje isključivo globalno.

Vodni otisak potrošača je održiv kada njegov ukupan iznos ostaje unutar potrošačeva pravednog udjela u svijetu, nijedna komponenta ukupnog vodnog otiska nije locirana u žarištu i nijedna komponenta ukupnog vodnog otiska ne može bit smanjena ili u potpunosti izbjegnuta uz razuman društveni trošak. Potrošači mogu tražiti transparentnost proizvoda od strane proizvođača i regulaciju od vlada. Kada su informacije o utjecaju određenog artikla na vodni sustav dostupne, potrošači mogu donijeti svjesnu odluku o tome što kupuju.

Poduzeća svoj operativni vodni otisak mogu smanjiti tako da smanje potrošnju vode i svedu na nulu zagađenje vode. Izbjegavanjem isparavanja, plavi vodni otisak se može svesti na nulu. Smanjenjem proizvodnje otpadnih voda što je više moguće i tretiranjem već proizvedenih otpadnih voda, sivi vodni otisak također može biti nula. Za većinu poduzeća opskrbni lanac je puno veći od operativnoga. Međutim, ostvarivanje poboljšanja u opskrbnom lancu puno je teže. Poduzeća mogu dogovoriti određene standarde kvalitete s dobavljačima ili mijenjanjem dobavljača. U većini slučajeva to je popriličan zadatak jer tako nešto nerijetko zahtijeva promjenu cijelog poslovnog modela. Jedno od potencijalnih rješenja je uvođenje standarda kvalitete (eng. *benchmarking*) unutar velikih kompanija ili specifičnih sektora: ono što se može postići u (opskrbnom lancu) jednoj kompaniji bi trebalo biti moguće postići i u (opskrbnom lancu) drugoj kompaniji.

Ratarstvo je vrsta poslovanja za koju vrijede stvari već navedene u prethodnom ulomku. Glavna briga stočara bi trebao biti vodni otisak stočne hrane koju kupuju ili sami proizvode. Za ratare postoji niz opcija za smanjivanje vodnog otiska. Prednost smanjivanja vodnog otiska po jedinici usjeva u poljoprivredi koja se temelji na kiši je povećanje ukupne proizvodnje što znači da se manje treba proizvesti na drugoj lokaciji. Stoga smanjenje zelenog vodnog otiska po toni usjeva na jednom mjestu može rezultirati smanjenjem plavog vodnog otiska u ratarstvu kao cjelini. Plavi vodni otisak se može znatno smanjiti i zamjenom klasične tehnike navodnjavanja deficitarnim i dopunskim navodnjavanjem.

Ključni elementi vladine strategije za smanjenje vodnog otiska su: podizanje razine svijesti među potrošačima i proizvođačima, promoviranje tehnologija koje štede vodu u svim granama ekonomije, restrukturiranje cijena vode na način da puni troškovi ulaznih voda postanu dio troška konačnog proizvoda, promoviranje transparentnosti proizvoda u lancu dobave i restrukturiranje ekonomije temeljene na neodrživim zalihama vode [1].

6. USPOREDBA VODNOG I UGLJIKOVOG OTISKA

Iako vodni i ugljikov otisak imaju sličnosti, njihovi korijeni i svrha se razlikuju. Ugljikov otisak formuliran je kako bi se kvantificirao doprinos raznih aktivnosti klimatskim promjenama. Vodni otisak je alat za razumijevanje vode kao prirodnog resursa u svjetskim razmjerima. Budući da je svaki od otisaka temeljen na različitim istraživačkim pitanjima potrebno ih je promatrati unutar njihova pripadajućeg konteksta i pažljivo interpretirati [5].

6.1. Porijeklo koncepta ugljikovog i vodnog otiska

Ugljikov i vodni otisak predstavljeni su simultano, ali neovisno jedan o drugom, prije desetak godina. Ugljikov otisak je proizašao iz rasprave o klimatskim promjenama kao alat za mjerenje emisija stakleničkih plinova. Vodni otisak uveden je u menadžmentu vodnih resursa kao alat za mjerenje povezanosti korištenja vode i obrazaca potrošnje. Njihova terminologija je inspirirana ekološkim otiskom koji je uveden 1990-ih.

Tablica 3. Usporedba ekološkog, vodnog i ugljikovog otiska prema [5]

Vrsta otiska	Predmet mjerenja	Mjerna jedinica
ekološki	potrošnja bioproduktivnog prostora	hektri (ha)
vodni	potrošnja i zagađenje slatke vode	kubični metri (m^3)
ugljikov	emisija plinova koji doprinose zagrijavanju planeta	CO_2-ekvivalentne jedinice po proizvodu ili vremenu

Nedavno je uveden i dušični otisak koji služi kao sredstvo mjerenja količine dušika koja se ispušta u okoliš korelaciji s potrošnjom.

Zajedničko svojstvo svima je da mogu biti povezani sa specifičnom aktivnošću, proizvodima i obrascima potrošnje [5].

6.1.1. Ugljikov otisak

Briga o klimatskim promjenama započela je prepoznavanjem veze između emisija ugljikova dioksida i globalnog zatopljenja. Prije 30 godina formiran je Međuvladin panel o klimatski promjenama (eng. *Intergovernmental Panel on Climate Change*), a njegov prvi izvještaj, koji je napravljen 1990., bio je podloga za Okvirnu konvenciju Ujedinjenih naroda o promjeni klime (eng. *United Nations Framework Convention on Climate Change*). Rezultat te konvencije je Kyotski protokol, međunarodni dogovor smanjenja emisija stakleničkih plinova. Kyotskim protokolom uveden je sustav trgovanja emisijama i mehanizmi kompenzacije (eng. *offsetting*) stakleničkih plinova.

Ugljično tržište je sustav trgovanja emisijama koji dozvoljava zemljama da prodaju neiskorištene dozvole za ispuštanje ugljikova dioksida zemljama koje su prekoračile svoje limite. Kyotski protokol također dozvoljava različite mehanizme kompenzacije:

1. Mehanizam čistog razvoja
2. Mehanizam zajedničke provedbe
3. Mehanizam koji dozvoljava zemljama da zarade jedinice uklanjanja

Međutim, Kyotski protokol je politički konstrukt, a ne znanstveni napor kojim se definira opsežan i sistematičan način kvantifikacije direktnih i indirektnih emisija stakleničkih plinova u odnosu na obrasce aktivnosti, proizvoda i potrošnje.

Najopsežnije istraživanje ugljikova otiska proveli su Wiedmann i Minx. Oni sugeriraju da je vodni otisak mjera ukupne količine CO_2 emisija koje su direktno ili indirektno uzrokovane aktivnošću ili akumulirane tijekom životnog vijeka proizvoda. Pandey opisuje ugljikov otisak kao količinu stakleničkih plinova izraženu u ekvivalentima CO_2, emitiranih u atmosferu od strane pojedinaca, organizacije, procesa, proizvoda ili događaja unutar određenih granica. Nijedna od navedenih definicija ne dozvoljava oduzimanja kao rezultat kompenzacije, prema [5]. Međutim, u praksi mnoge kompanije tvrde da kompenziranjem smanjuju svoj ugljikov otisak. Nadalje, u praksi često nije jasno odnosi li se ugljikov otisak samo direktne emisije stakleničkih plinova ili i na indirektne također. Znanstvenici uglavnom uključuju obje.

I u znanosti i u praksi termin se primjenjuje na različite subjekte: jedan proces, cijeli dobavni lanac proizvoda, potrošači pojedinci, populacije, poduzeća, industrijski sektori i razne vrste aktivnosti i organizacija [5].

6.2. Usporedba ugljikovog i vodnog otiska iz metodološke perspektive

Ugljikov i vodni otisak međusobno su komplementarni osvrćući se na različite ekološke probleme: klimatske promjene i nestašica slatke vode. Unatoč sličnostima u njihovoj definiciji i izračunu, bitno se razlikuju. Tako su lokacija i vrijeme unutar godine nebitni za emisije stakleničkih plinova dok su prostorna i vremenska komponenta potrošnje i zagađenja vode od ključne važnosti [5].

Tablica 4. Usporedba ugljikovog i vodnog otiska, prema [5]

	UGLJIKOV OTISAK	VODNI OTISAK
Što se mjeri	Antropogene emisije stakleničkih plinova.	Ljudsko prisvajanje slatke vode u smislu volumena potrošene i zagađene vode.
Mjerna jedinica	Masa CO_2-ekvivalenata po jedinici vremena ili jedinici proizvoda.	Volumen vode po jedinici vremena ili po jedinici proizvoda.
Vremenskoprostorna dimenzija	Nebitno je gdje se i kada emisije ugljika pojavljuju; jedinice emisije ugljika međusobno su razmjenjive.	Bitno je gdje se i kada vodni otisak pojavljuje; jedinice vodnog otiska nisu međusobno razmjenjive.
Komponente otiska	Vodni otisak s obzirom na vrstu stakleničkih plinova: CO_2, CH_4, N_2O, HFC, PFC i SF_6. Emisije po vrsti plina su prije zbrajanja vrednovane s obzirom na njihov potencijal globalnog zatopljenja.	Plavi, zeleni i sivi vodni otisak. Kada se zbrajaju, ne vrednuju se.
Subjekti za koje se otisak može izračunati	Procesi, proizvodi, poduzeća, industrijski sektori, individualni potrošači, skupine potrošača, geografski određena područja.	Procesi, proizvodi, poduzeća, industrijski sektori, individualni potrošači, skupine potrošača, geografski određena područja.

Tablica 5. Usporedba ugljikovog i vodnog otiska – nastavak [5]

	UGLJIKOV OTISAK	VODNI OTISAK
Metode proračuna	Pristup odozdo prema gore: • Za procese, proizvode i male subjekte • Metoda procjene životnog cikluca (LCA) Pristup odozgo prema dolje: • Za studije sektora, nacionalne i globalne • The method of Environmentally Extended Input-Output Analysis (EE-IOA) (Metoda proširene okolišne analize ulaza i izlaza) Hibridni pristup • LCA i EE-IOA za proizvode, nacije, organizacije	Pristup odozdo prema gore: • Za procese, proizvode i poduzeća, ali i studije sektora, nacionalne i globalne • Metoda izračuna odozdo prema gore u Water Footprint Assessment (WFA) • Za proizvode izračun po dobavnom lancu u WFA sličan je izračunu inventara životnog ciklusa u LCA Pristup odozgo prema dolje: • Za studije sektora, nacionalne i globalne • Metoda izračuna odozgo prema dolje u WFA • Metoda EE-IOA korištena kao alternativa
Opseg	1. Direktne emisije 2. Indirektne emisije od korištene električne energije 3. Ostale indirektne emisije	Uvijek uključuje direktni i indirektni vodni otisak.
Održivost otiska	Dodatne su informacije potrebne za procjenu održivosti ugljikova otiska. Za planet u cjelini potrebno je odrediti maksimalnu dopuštenu koncentraciju emisija stakleničkih plinova, tj. potrebno je odrediti gornju granicu ugljikova otiska. Za određene procese i proizvode moguće je koristiti referentne točke	Dodatne informacije su potrebne za procjenu održivosti vodnog otiska. Za sliv potrebno je odrediti dostupnost slatke vode i kapacitet asimilacije otpadnih voda, što čini gornju granicu vodnog otiska za sliv. Za određene procese i proizvode moguće je koristit referentne točke.

6.3. Usporedba formulacije postupanja s ugljikovim i vodnim otiskom

Dvije glavne strategije smanjenja ugljikova otiska su reduciranje i kompenzacija.

Reduciranje se odnosi na obavljanje radnji na manje ugljično intenzivan način što se postiže povećanjem ugljične učinkovitosti primjenom niskougljičnih tehnologija koje imaju nižu emisiju stakleničkih plinova po jedinici proizvoda ili na prestanak obavljanja određenih aktivnosti ili potrošnje općenito.

Kompenzacija podrazumijeva poduzimanje vanjskih aktivnosti kako bi se kompenzirao ugljikov otisak nekom vrstom zarobljavanja ugljika ili redukcije negdje drugdje. Ukoliko je kompenzacija ugljikova otiska neke aktivnosti 100%, ponekad se smatra da je aktivnost ugljično neutralna.

Budući da voda nije ista ugljiku, upitno je mogu li se ista rješenja primijeniti i na vodni otisak. Nadalje, nisu ni sva rješenja razvijena za ugljik učinkovita. Hoekstra predviđa veliko tržište za vodnu kompenzaciju i neutralnost, ali do koje mjere će to tržište efektivno pridonositi učinkovitijem, održivijem i nepristranijem korištenju svjetskih vodnih resursa ovisi o pravilima tržišta. Bez dogovorenih definicija i smjernica o tome što se broji kao vodna kompenzacija i neutralnost, ti pojmovi će vjerojatno prije završiti kao krilatice pri prikupljanju sredstava za dobrotvorne svrhe u vodnom sektoru nego efektivna sredstva za postizanje mjerljivih ukupnih smanjenja vodnog otiska [5].

7. ZAKLJUČAK

Slatka voda vitalna je ljudska potreba. Uslijed antropogenih aktivnosti dolazi do njene nestašice. Kako bi se prikazala povezanost ljudskih aktivnosti i korištenja vode razvijen je vodni otisak. Njime se iskazuja potrebna količina za proizvodnju dobara i usluga. Vodni otisak je još uvijek relativno nepoznat pojam što omogućuje znanstvenicima da aktivno utječu na njegovu sliku u javnosti. Radi izbjegavanja problema poput onih kod ugljikova dioksida (nedostatak jedinstvenog pristupa izračunu ugljikova otiska), razvijen je Priručnik za procjenu vodnog otiska. Jedan od njegovih autora je i Arjen Y. Hoekstra, autor koncepta vodnog otiska. U Priručniku su navedeni zahtjevi i smjernice pri određivanju vodnog otiska. Također, navode se i moguća rješenja kojima se smanjuje vodni otisak .

Osim što upućuje na probleme nestašice slatke vode i njenih ograničenih resursa, vodni otisak nam omogućuje da promotrimo obnovljive izvore energije iz perspektive vodnih resursa. Kao što je pokazano na primjeru biomase, iako njeno korištenje doprinosi smanjenju upotrebe fosilnih goriva, čime se smanjuje ugljikov otisak, njen vodni otisak je vrlo velik. Povlači se pitanje opravdanosti upotrebe tolikih vodnih resursa za proizvodnju goriva kada znamo da su isti ograničeni.

Primjenom vodnog otiska podiže se razina svijesti svih subjekata (proizvođači, potrošači, vlade) čime se pridonosi očuvanju okoliša.

LITERATURA

[1] Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., Mekonnen, M. M.: *The Water Footprint Assessment Manual*, Earthscan, London, 2011.

[2] Hoekstra A.Y.: *The Water Footprint: The Relation Between Human Consumption and Water Use*, in Antonelli M., Greco F. (eds) *The Water We Eat*, Springer Water, Heidelberg, New York, Dordrecht, London, 2015.

[3] https://www.pseau.org/outils/ouvrages/waterfootprint_comprehensive_introduction_to_water_footprints_en.pdf (Zadnje pristupano: 20.02.2018.).

[4] http://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/personal-water-footprint-calculator/ (Zadnje pristupano: 20.02.2018.).

[5] Hoekstra, A. Y., Ercin, A. E.: *Carbon and Water Footprints*, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, 2012.

[6] International standard ISO 14046:2014: *Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines*, ISO, Geneva, 2014.

[7] Gerbens-Leenes, P.W., Hoekstra, A. Y., van der Meer, Th.: The water footprint of energy from biomass: A quantitave assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply, *Ecological Economics*, 68(2009), 1052-1060.

.

PRILOZI

I. CD-R disc