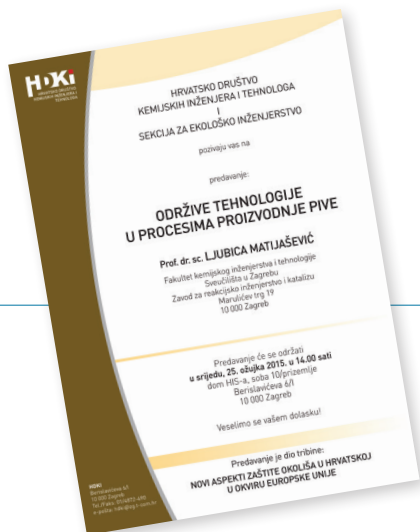


# ZAŠTITA OKOLIŠA



Uređuje: Vjeročka Vojvodić



Predstavljamo članak temeljen na predavanju prof. dr. sc. *Ljubice Matijašević* "Održive tehnologije u procesima proizvodnje piva", održanom 25. ožujka 2015. u sklopu tribine "Novi aspekti zaštita okoliše u Hrvatskoj u okviru Europske unije", koju organiziraju *Hrvatsko društvo kemijskih inženjera i tehnologa (HDKI)* i *Sekcija za ekološko inženjerstvo*.

Vjeročka Vojvodić

## Ljubica Matijašević\* Održive tehnologije u procesima proizvodnje piva

### Sažetak

Intenzivan razvoj održivih tehnologija počinje krajem 80-ih godina prošlog stoljeća kada su postale vidljive posljedice industrijskog razvoja i njegovog utjecaja na okoliš. Mora se priznati da je upotreba fosilnih goriva, kao primarnih izvora energije, znatno utjecala na razvoj svih grana industrijskog djelovanja u prošlom stoljeću, što se pozitivno odrazilo i na kvalitetu života. Međutim kontinuirani rast cijene tih goriva kao i negativni utjecaj na okoliš prisilili su industrijski sektor, koji je najveći potrošač i ujedno najviše pridonosi onečišćenju okoliša, da pronađe metode smanjenja potrošnje primarne energije, a time smanji i negativan utjecaj na okoliš.

U radu je dan kratak pregled primjene održivih tehnologija u procesima proizvodnje piva, koji su dio industrije FDM-a (*Food, Drink, Milk*) za koje postoje smjernice za primjenu najbolje dostupnih tehnika. Pivovara je energetski intenzivan proces, koji se koristi primarnom energijom, u kojem se generira otpadna toplota kao i korisni kruti otpad te ima velik potencijal za primjenu održivih tehnologija.

### 1. Uvod

Kada se spomene pojam *održive tehnologije*, prva pomisao je upotreba obnovljivih izvora energije (sunce, vjetar, biomasa, geotermalni izvor), koji mogu zamijeniti primarni izvor energije. Međutim uz navedene u održive tehnologije ulaze sve ostale tehnologije koje doprinose maksimalnom iskorištenju tvari i energije koje nastaju u proizvodnom procesu.

\* Prof. dr. sc. Ljubica Matijašević  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zavod za reakcijsko inženjerstvo i katalizu, Marulićev trg 19, 10000 Zagreb  
e-pošta: lmatij@fkit.hr

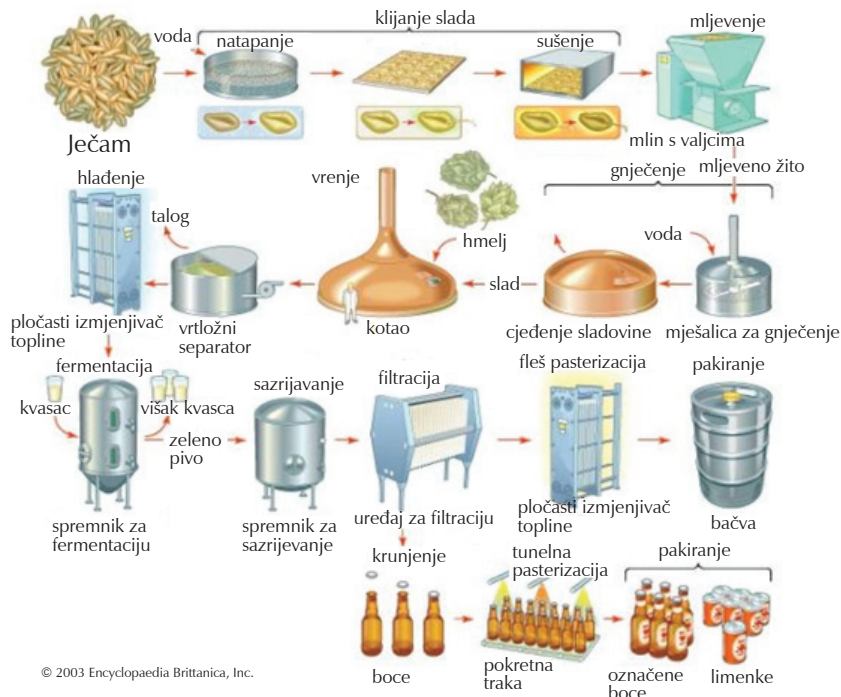
Metodologija povezivanja svih energetski aktivnih jedinica unutar procesa, kao i metodologija povezivanja i prepoznavanja tokova tvari unutar procesa ulaze u područje integracije procesa za koje su razvijene brojne vještine i alati koji se danas primjenjuju u svim granama industrije. U industriji hrane i pića integriranim pristupom mogu se postići uštede 15 – 40 % (u nekim granama i više) na energiji i 30 – 40 % na vodi.

Bez održivih tehnologija nema održive proizvodnje pa tako ni održivog razvoja. Održivi razvoj treba utjecati na *društvo* (težnja jednakosti među ljudima, smanjenje siromaštva), *okoliš* (dobro upravljanje resursima, zaštita okoliša) i *gospodarstvo* (razvoj, rast i uspjeh). U dugoročnoj perspektivi opstanka i napretka čovječanstva, društvo, okoliš i gospodarstvo tri su glavne sastavnice održivog razvoja. Razvoj održive proizvodnje postiže se primjenom održivih tehnologija. Po definiciji održiva proizvodnja je stvaranje dobara i usluga u kojima se primjenjuju procesi i sustavi koji ne zagađuju, čuvaju energiju i prirodne resurse, ekonomski su održivi, sigurni i zdravi za zaposlenike, zajednice i potrošače.

Kada se analizira proizvodni proces, uvijek se treba postaviti pitanje: iskorištava li postrojenje maksimalno energiju (toplino) i količinu (masu) tvari unutar procesnog prostora?

Taj je pristup primjenjiv u svim granama industrijske proizvodnje. Prehrambena industrija i industrija pića, u koju se ubraja i proizvodnja piva, obuhvaća procese i operacije koji su veliki potrošači tvari i energije na kojima je moguće primijeniti tehnologije vezane uz održivi razvoj.

Europska komisija izdala je direktive IPPC, koje su ugrađene u zakonodavstvo Europske unije s ciljem sprječavanja i kontrole onečišćenja, a temelje se na primjeni najbolje raspoloživih tehnika (BAT – *Best Available Technique*). Referentni dokumenti za izbor najboljih raspoloživih tehnika tzv. BREF-ovi u industriji hrane, pića i mliječnoj industriji su iz 2006., a treba napomenuti i da se dokumenti s vremenom nadopunjuju, ovisno o napretku tehničkih rješenja. Unutar BREF-ova nalaze se i preporuke vezane



Slika 1 – Prikaz toka procesa proizvodnje piva

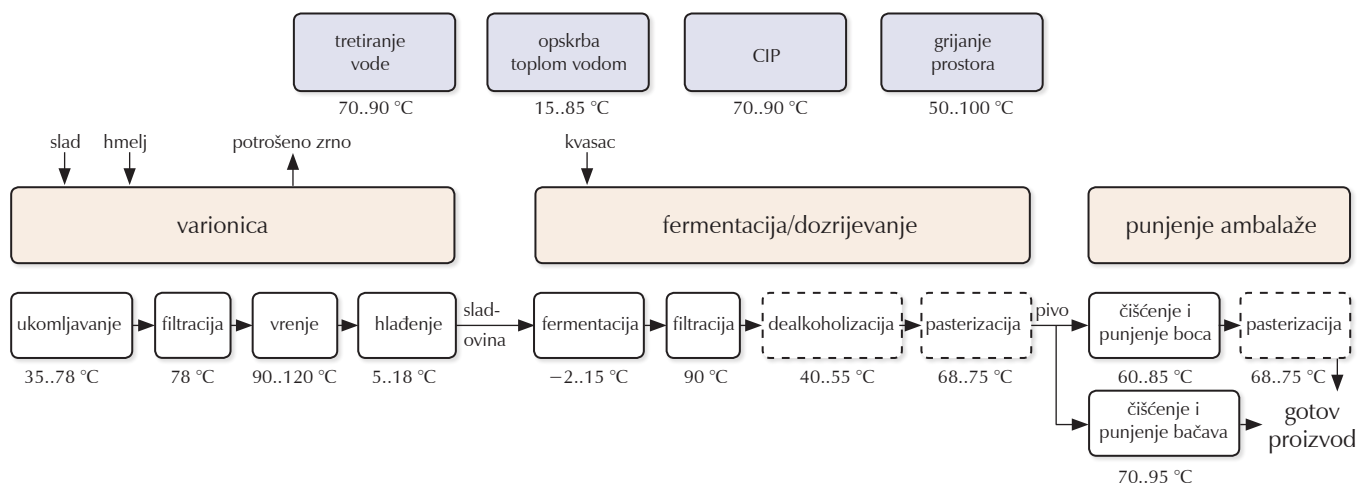
uz smanjenje potrošnje energenata, jer se njihovom primjenom smanjuju emisije otpadnih tvari, prije svega stakleničkih plinova.

## 2. Održive tehnologije kod procesa proizvodnje piva

Proces proizvodnje piva slikovito je prikazan na slici 1. Osnovne sirovine za proizvodnju piva su ječam, hmelj, pivski kvasac i voda. Tijekom proizvodnje pivo naizmjenice prolazi kroz tri kemijske i biokemijske reakcije (nakon gnečenja vrenje, fermentacija i dozrijevanje) i tri separacije kruto-tekuće (separacija slada, bistenje slada i bistenje mladog piva), pri čemu se troši ili oslobađa energija. Kod proizvodnje piva troše se velike količine vode, oko 2/3 u samom procesu i 1/3 za pranje i čišćenje. Dijelo-

vi procesa u kojima se troši voda, energija, oslobađa toplina, gdje nastaje otpadna voda, kruti otpad ekonomski su isplativa mjesta za poboljšanje procesa proizvodnje piva. Upravljanje vodama, energijom i odlaganjem otpada znatno se utječe na cijenu kao i vođenje procesa u pivovari.

Blok-shema procesa proizvodnje piva prikazana je na slici 2, s naglaskom na temperature u pojedinim dijelovima procesa. Cijeli proces proizvodnje provodi se u širokom rasponu temperatura za koji je potrebno dovesti i odvoditi toplinu što ukazuje na mogućnost integracije topline. Temperature koje se postižu tijekom procesa ovise o samom postupku proizvodnje piva. U toplom dijelu, u procesima ukomljavanja, filtracije i vrenja (varionica) potrebne su velike količine topline, dok su za hladni dio procesa (fermentacija/dozrijevanje) potrebne niske temperature. To omo-



Slika 2 – Blok-shema procesa proizvodnje piva<sup>1</sup>

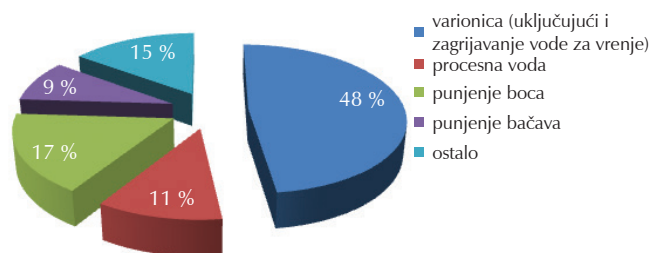
gućuje provedbu rekuperacije topline primjenom izmjenjivača topline i spremnika topline.

Prema preporukama EC-a za povećanje energetske djelotvornosti, referentni dokumenti za izbor najboljih raspoloživih tehnika (BREF-ovi) za hranu, piće i mlijeko daju smjernice za smanjenje potrošnje energije i vode u procesima proizvodnje piva kako bi se postigle vrijednosti propisane direktivom IPPC-a. U tablici 1 dana je usporedba potrošnje energije u pivovarama sa standardnom opremom s pivovarama koje su primijenile smjernice EC-a kao i tehnologije za povećanje djelotvornosti rada.

Tablica 1 – Potrošnja toplinske i električne energije u pivovarama

	Standardna oprema	Primjena novih tehnologija
potrošnja toplinske energije	11 – 12 kWh/hl	7,5 kWh/hl
potrošnja električne energije	36 – 40 kWh/hl	24 kWh/hl

Uobičajena raspodjela energije u pivovarama prikazana je na slici 3. Toplina se u procesu prenosi u obliku vruće vode ili pare te hladne vode i ostalih rashladnih sredstava poput glikola i amonijaka. Najviše topline troši se u varionici, a zatim u prostoru za pranje i čišćenje povratne ambalaže. Toplina se troši kod pripreme procesne vode kao i kod ostalih dijelova procesa poput filtracije i ostalog.



Slika 3 – Raspodjela energije u procesima proizvodnje piva<sup>1</sup>

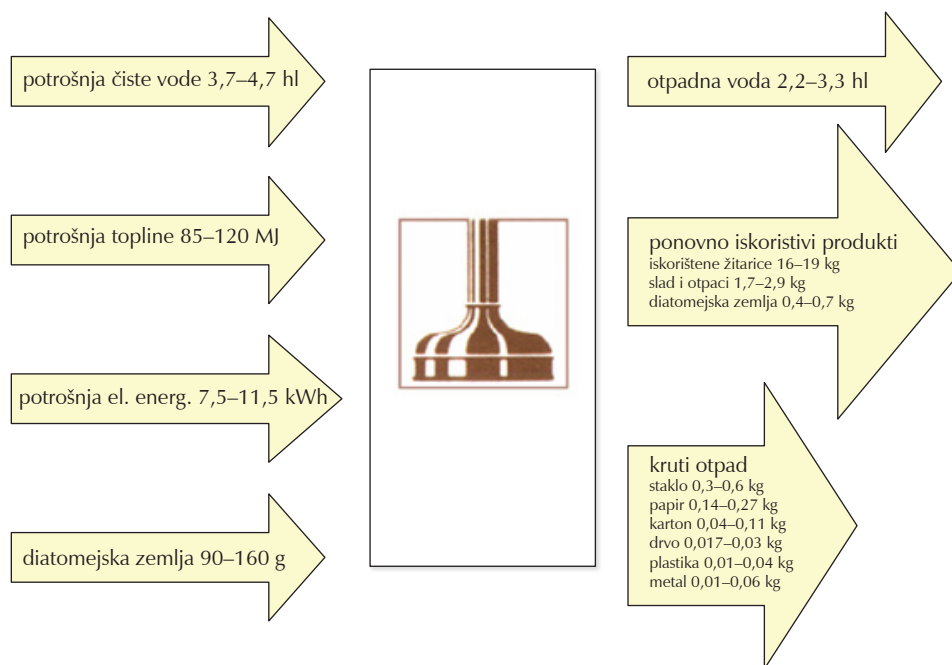
Osim piva kao glavnog proizvoda u procesu nastaje i cijeli niz sekundarnih proizvoda i otpadnog materijala koji se mogu pretvoriti u korisne proizvode. Kruti ostatak, koji čine potrošene žitarice, kvasac, hmelj, proteini, mogu se upotrebljavati kao hrana životinjama ili kao sirovina za proizvodnju bioplina, a otpad poput stakla, papira, etiketa, plastike i metala odlazi na recikliranje ili spaljivanje.

Potrošnja energije kod proizvodnje piva izravno je vezana uz pitanja okoliša. Pivovare troše električnu i toplinsku energiju, a poboljšanjem energetske učinkovitosti smanjuju se emisije CO<sub>2</sub> i općenito utjecaj proizvodnog procesa na okoliš. Zamjena primarnih izvora energije uporabom biogoriva i obnovljivih izvora energije nije jedini način kojim pivovara nastoji smanjiti emisije CO<sub>2</sub> i stakleničkih plinova. Novi trend u pivovari je hvatanje CO<sub>2</sub> proizvedenog tijekom fermentacijskog procesa, koji se može upotrebljavati za karbonizaciju piva ili može opskrbljivati tvrtke koje proizvode bezalkoholna pića i gaziranu vodu.

Na slici 4 dane su tipične ulazne i izlazne veličine jedne nje-mačke pivovare kapaciteta 1 milijun hl piva godišnje u kojoj su primijenjene tehnologije za povećanje djelotvornosti rada pivovara. Vrijednosti su izražene po 1 hl piva. Smanjenje potrošnje toplinske i električne energije utječe na smanjenje emisije CO<sub>2</sub> i to za više od 6 kg po 1 hl proizvedenog piva.

### 3. Mjere za održivu proizvodnju piva

Za djelotvornu primjenu održivih tehnologija nužna je detaljna analiza procesa. Prvi korak analize je identifikacija topline potrebne za odvijanje procesa i pripadajućih toplinskih tokova, što omogućuje definiranje toplih i hladnih struja u procesu kao i postojanje spremnika topline. Slijedi postavljanje energetskih bilanci i lociranje mjesta najvećeg prijenosa topline koja imaju visoki potencijal za njezino iskorištenje. S prikupljenim podacima može se provesti integracija topline. Integracija pogodnih uređaja (toplinske pumpe) i integracija obnovljivih izvora energije (solarni sustavi) provodi se nakon optimiranja procesa, s obzirom na temperature koje se moraju postići u procesu. Na slici 5 prikazani su uobičajeni tokovi primarne i sekundarne energije kod procesa proizvodnje piva.



Slika 4 – Referentne vrijednosti ulaznih i izlaznih veličina pivovare<sup>2</sup>

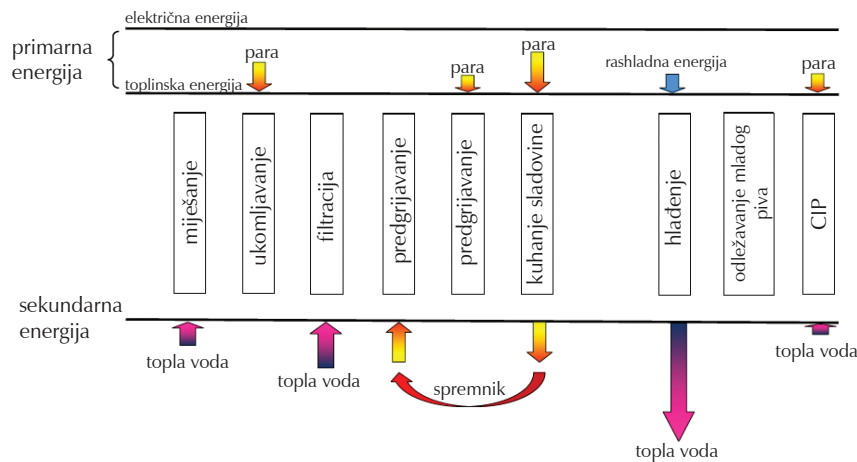
### 3.1. Integracija topline unutar procesa

Integriranim pristupom, toplina se može iskoristiti u svim dijelovima procesa proizvodnje piva. Za dobru integraciju topline potrebno je napraviti toplinsku analizu procesa bilo vizualizacijom tokova topline kroz proces (Sankey dijagram), kako bi na jednostavan način locirali mjesta za iskorištenje topline, bilo primjenom *pinch*-analize koja omogućuje uvid u mogućnosti izmjene topline unutar struja u procesu kao i količine topline koju treba dovesti ili odvesti unutar procesa.

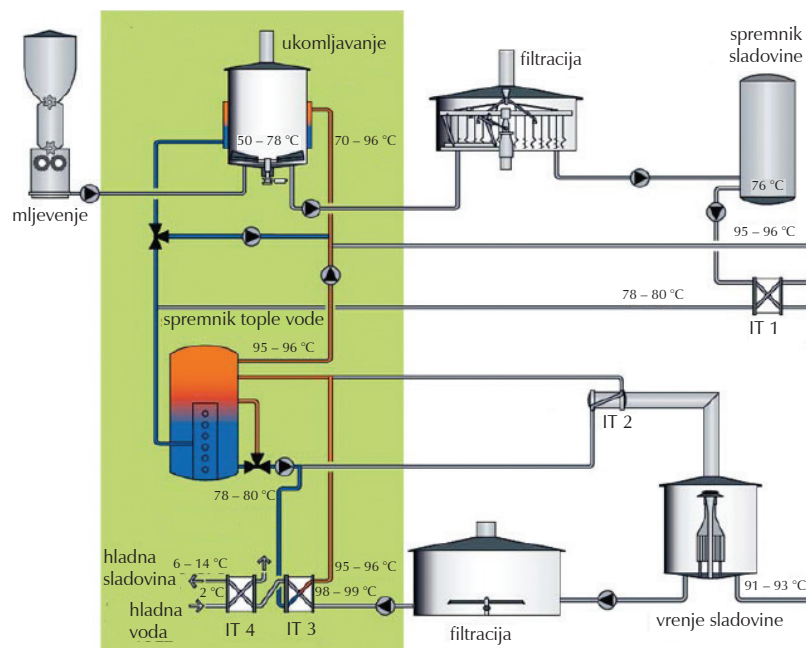
Mogućnosti za iskorištenje topline su sljedeće: povrat topline pare nastale kod procesa vrenja pomoću kondenzatora pare,

povrat topline nastale hlađenjem sladovine, iskorištenje otpadne topline kod procesa gnječanja, povrat topline iz procesa pasterezacije i procesa pranja, a kod kotlova iskorištenje topline dimnih plinova i povrat topline iz ispusta pare. Najveće iskorištenje topline je u toplom dijelu procesa. Na slici 6 dan je shematski prikaz dobrog iskorištenja topline u pivovari kapaciteta 200 000 hl/god.

Rekuperacijom topline mogu se gotovo potpuno zadovoljiti toplinske potrebe za proces ukomljavaanja. Potrošnja toplinske energije proizvedene iz fosilnih goriva smanjena je za 32 %, a potrošnja tople vode za 23 %, pri čemu se smanjila i količina otpadne vode. Uštede su postignute i na električnoj energiji koja služi za pripremu hladne vode, čija se potrošnja smanjila za 23 %.



Slika 5 – Prijenos topline kod proizvodnje piva<sup>3</sup>



Slika 6 – Rekuperacija topline uvođenjem dodatnog izmjenjivača topline<sup>3</sup>

Na slici 7 prikazana su mjesta za iskorištenje topline u procesu. Topla voda nastala hlađenjem sladovine nakon vrenja odvodi se u spremnik topline iz kojeg se kasnije upotrebljava kao topla voda za ukomljavaње. Time se smanjuje količina pare proizvedene iz fosilnih goriva potrebne za postizanje visokih temperatura u procesu ukomljavaња kao i količina otpadne tople vode koja se ispušta u okoliš.

### 3.2. Integracija solarnog sustava

Pivovare imaju velik potencijal za primjenu solarnog sustava za zagrijavanje jer se većina procesa odvija pri temperaturama nižim od 100 °C. Iako su se razvile nove izvedbe solarnih kolektora koje mogu zagrijati vodu na temperature više od 100 °C, upotreba takvih kolektora za potrebe vrenja trenutno nije isplativa. Procesi s najviše potencijala za iskorištenje solarne energije su dio za čišćenje boca i kašeta, ukomljavaње i zagrijavanje sladovine. Primjeri integracije solarnih sustava dani su na slikama 8 i 9. Na slici 8 je primjer zagrijavanja spremnika procesne vode, a na slici 9 zagrijavanje kotla za ukomljavaње.

U maloj pivovari kapaciteta 200 000 hl/god (Njemačka), ugrađeno je 500 m<sup>2</sup> vakuumskih kolektora. Rezultat je 165 sati godišnje opskrbe toplinskom energijom, što čini 21 % ukupne toplinske energije potrebne za taj dio procesa. Zajedno s rekuperacijom topline smanjenja je emisija CO<sub>2</sub> za 2760 t/god.

Pivovara Göss kapaciteta oko 1 300 000 hl piva, nakon provedenih mjera rekuperacije topline kojima su postignute uštede od 40 % topline potrebne u pivovari, ugradila je 1500 m<sup>2</sup> sunčevih

kolektora. Tako dobivena toplinska energija rabi se za ukomljavaње gdje se postižu temperature 50 – 78 °C.

Pivovara Valencia je ugradila 2835 m<sup>2</sup> solarnih kolektora. Toplina iz solarnog sustava rabi se za pasterizaciju 40 000 boca/h i 55 000 limenki/h. Temperature koje se postižu su 60 °C.

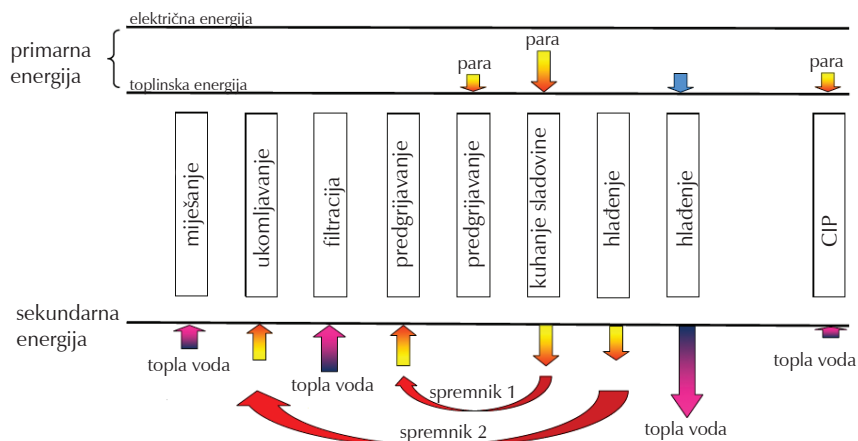
Wieckse, the Netherlands (Heineken) je ugradila preko 3600 m<sup>2</sup> solarnih panela, čime je pokrivena potreba za električnom energijom.

To je samo nekoliko primjera uporabe solarne energije kojom se smanjuje potreba za primarnim izvorima energije, a time se smanjuje i emisija CO<sub>2</sub>.

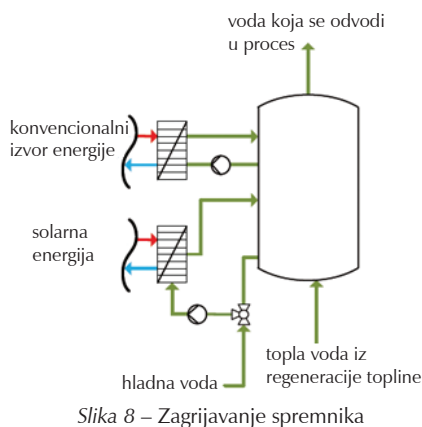
### 3.3. Proizvodnja bioplina

Kod proizvodnje piva, bioplina se može dobiti iz otpadnih voda pivovara te iz biomase (čvrsti otpad iz pivovara). Bioplina iz otpadne vode dobiva se pomoću anaerobnih fermentora – noviji razvoj. Anaerobni fermentori poboljšavaju kvalitetu otpadne vode, koja napušta pivovaru, a proizvedeni bioplina može se rabiti u kogeneracijskom (CHP) postrojenju na licu mjesta ili se može iskoristiti za proizvodnju "zelene energije" (hladnjaci).

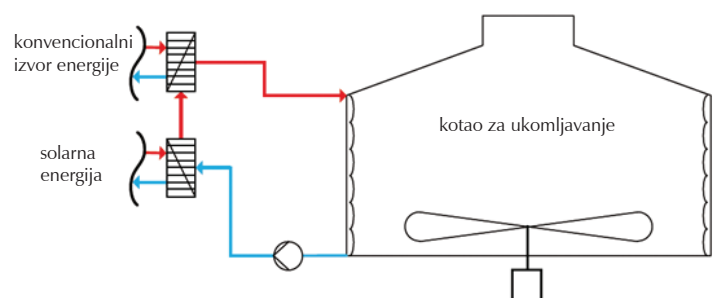
Biomasa nastaje od čvrstog otpada iz pivovara i rabi se za dobivanje bioplina za proizvodnju električne i toplinske energije. U nekim slučajevima se žitarice iz pivovare rabe u kotlovima za pokretanje pivovare, kao obnovljivi izvor energije. Energija iz biomase može se dobiti izravnim spaljivanjem biomase ili pretvorbom biomase u bioplina.



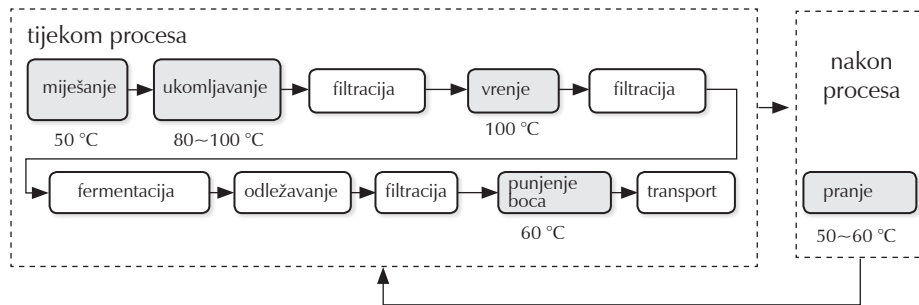
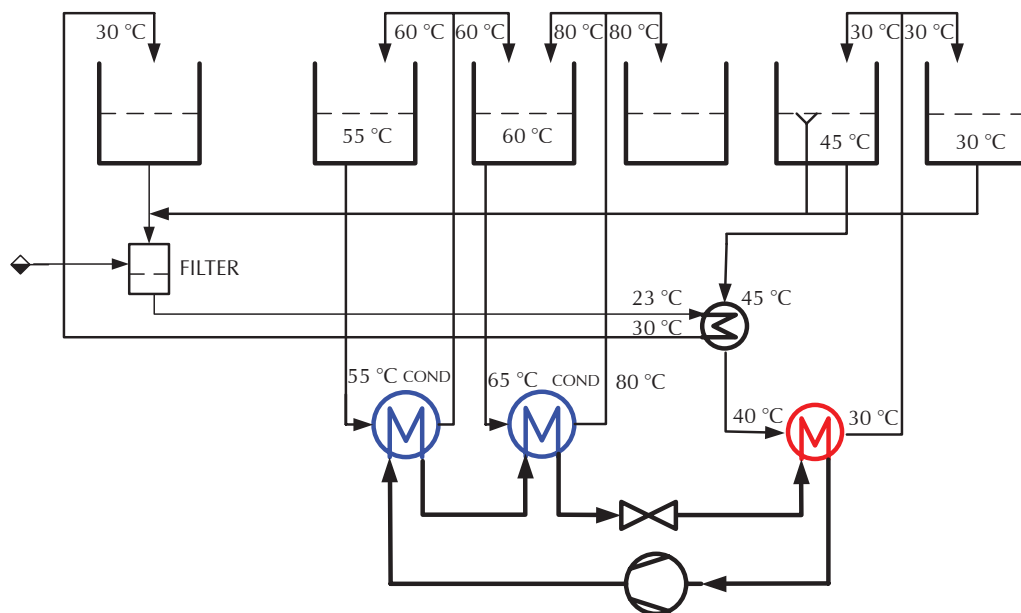
Slika 7 – Iskorištenje topline za proces ukomljavaња<sup>3</sup>



Slika 8 – Zagrijavanje spremnika



Slika 9 – Zagrijavanje kotla za ukomljavaње

Slika 10 – Procesi na kojima se može primijeniti toplinska pumpa u pivovari<sup>4</sup>

Slika 11 – Sustav za pranje boca s primjenom toplinske pumpe

### 3.4. Integracija toplinskih pumpi

Toplinske pumpe ili dizalice topline uređaji su koji u procesu oduzimaju energiju fluidu s nižom temperaturom i predaju fluidu više temperature uz utrošak rada. Primjena toplinskih pumpi doprinosi smanjenju emisije CO<sub>2</sub>, tehnološki su napredovale tako da su djelotvornije i mogu se postići veći kapaciteti kao i više temperature. Zamjena kotlova za proizvodnju pare, koji su konvencionalni izvor topline s toplinskim pumpama gotovo je stalna aktivnost na procesnim postrojenjima. Na slici 10 označena su mjesta na kojima se može primijeniti toplinska pumpa kod procesa proizvodnje piva.

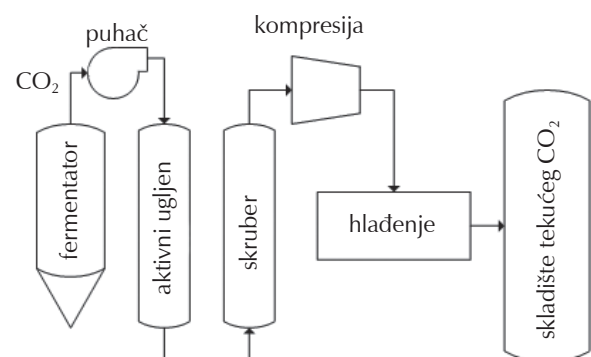
Shematski prikaz sustava za pranje boca s primijenjenom toplinskom pumpom dan je na slici 11. Toplinska pumpa koristi se otpadnom toplinom, kojom u izmjenjivaču topline (isparivaču) povećava temperatura radnog medija koji isparava. Kompresijom se radnom mediju povećava tlak i temperatura koji predaju toplinu procesnoj vodi, dok se sam kondenzira i preko ekspanzijskog ventila vraća u isparivač te se postupak ponavlja.

### 3.5. Rekuperacija CO<sub>2</sub>

Za osiguranje optimalne kvalitete proizvodnje treba voditi računa o rekuperaciji CO<sub>2</sub>, koji nastaje u procesu fermentacije. Implementacija tehnologije za rekuperaciju CO<sub>2</sub> znatno utječe na smanjenje troškova i pridonosi ekološki odgovornoj proizvodnji.

Ugljikov dioksid može se skladištiti u zatvorene spremnike i kasnije upotrijebiti u procesu karbonizacije.

Velike pivovare mogu zadovoljiti potrebe za CO<sub>2</sub> ako je instalirano dobro osmišljeno postrojenje za rekuperaciju CO<sub>2</sub> iz fermentacije. Sama tehnologija je atraktivna za male i srednje velike pivovare gdje su ostvarivi povrti ulaganja u razdoblju 2 – 3 godine. Sustav je shematski prikazan na slici 12.

Slika 12 – Shema postrojenja za rekuperaciju CO<sub>2</sub><sup>5</sup>

#### 4. Zaključak

Ovaj rad temelji se na predavanju održanom 25. ožujka 2015., na poziv HDKI – Sekcija za ekološko inženjerstvo, unutar tribine *Novi aspekti zaštite okoliša u Hrvatskoj u okviru EU*. Dan je kratak pregled primjene održivih tehnologija kod procesa proizvodnje piva za koje postoje smjernice za primjenu najbolje dostupnih tehnika. Pivovara je energetski intenzivan proces koji rabi primarnu energiju, troše se i nastaju glavni i sporedni proizvodi, generira se otpadna toplina kao i korisni kruti otpad te ima velik potencijal za primjenu održivih tehnologija.

#### Literatura

1. B. Schmitt, C. Lauterbach, M. Dittmar, K. Vajen, Guideline for the utilization of solar heat in breweries, Research project SO-PREN, 2012., dostupno: <http://solar.umwelt-uni-kassel.de> (15. 7. 2014.)
2. European Commission, IPPC, Reference document on best available techniques in Food, Drink and Milk Industries, august 2006. <http://www.krones.com> (15. 7. 2014.)
3. Survey of Availability of Heat Pumps in the Food and Beverage Fields, Heat Pump & Thermal Storage Technology Center of Japan, March 2010, <https://www.hptcj.or.jp/Portals/0/data0/e/publication/pdf/survey.pdf> (16. 4. 2014.)
4. Heineken, Sustainability Report, 2012.
5. K. Andlar, Održive tehnologije u proizvodnji piva, Završni rad, FKIT, rujan 2014.
6. A. Klobučić, Toplinska analiza procesa proizvodnje piva, Završni rad, FKIT, rujan 2014.



HRVATSKO DRUŠTVO KEMIJSKIH INŽENJERA I TEHNOLOGA  
SEKCIJA ZA EKOINŽENJERSTVO

pozivaju vas na predavanje:

### TERETNIM BICIKLOM DO ODRŽIVE ZAJEDNICE

**MATIJA HLEBAR**

stručnjak za održivi razvoj, inovator, društveni poduzetnik  
Udruga za održivi razvoj Hrvatske (UZOR HRVATSKE)  
Kolodvorska 7  
48 000 Koprivnica

Predavanje će se održati  
**u srijedu 30. rujna 2015. u 14.00 sati**  
**u domu HIS-a, soba 10, Berislavićeva 6/I, 10 000 Zagreb**

Predavanje je dio tribine:  
NOVI ASPEKTI ZAŠTITE OKOLIŠA U HRVATSKOJ  
U OKVIRU EUROPSKE UNIJE