

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE**  
**FAKULTA CHEMICKEJ A POTRAVINÁRSKEJ**  
**TECHNOLÓGIE**

**Ústav chemického a environmentálneho inžinierstva**

**Elaborát:**

**Výroba sladu a varenie piva**

## Obsah

<b>Zoznam literatúry:</b> .....	2
<b>1. Process modelling and technology evaluation in brewing</b> .....	3
<b>2. Water, wastewater and waste management in brewing industries</b> .....	4
<b>3. The brewing industry and environmental challenges</b> .....	5
<b>4. Highlights on energy efficiency improvements: a case of a small brewery</b> .....	6
<b>5. Technical Achievements in Energy Conservation by Beverage-related Processing Industries: Breweries, Dairies, Distilleries and Maltings</b> .....	7
<b>Abstract:</b> .....	8
<b>Súhrn:</b> .....	9
<b>Doplnková literatúra:</b> .....	12

## Zoznam literatúry:

- [1] Muster-Slawitsch, B., Hubmann, M., Murkovic, M., Brunner, Ch.: Process modelling and technology evaluation in brewing, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 84 (2014), 98-108
- [2] Fillaudeau, L., Blanpain-Avet, P., Daufin, G.: Water, wastewater and waste management in brewing industries, *Journal of Cleaner Production* 14 (2006), 463-471
- [3] Olajire, A.: The brewing industry and environmental challenges, *Journal of Cleaner Production* 30 (2012), 1-21
- [4] Kubule, A. A., Zogla, L., Ikaunieks. J., Rosa, M.: Highlights on energy efficiency improvements: a case of a small brewery, *Journal of Cleaner Production* 138 (2016), 275-286
- [5] Fawkes, S. D., K. Jacques, J.: Technical Achievements in Energy Conservation by Beverage-related Processing Industries: Breweries, Dairies, Distilleries and Maltings; *Applied Energy* 25 (1986), 41-70

# 1. Process modelling and technology evaluation in brewing

To reach an integrated sustainable production site, it is important to analyse effects of technology changes. A “brewery model” has been developed which allows process modelling of a brewing facility. Besides the comparison of specific demand figures, it allows a holistic view of the production site and most importantly the modelling of energy demand profiles. Energy demand profiles in brewing vary significantly based on the chosen technology set. Furthermore they are notably influenced by production planning, heat exchanger surfaces and heat supply management. A reduction in energy intensity in the brewhouse processes will lead to the possibility to design heat supply equipment at lower capacity. The mashing process is an important candidate in considerations for heat recovery and low temperature heat supply. New temperature profiles in mashing can improve processing time, quality of the produced wort as well as enable the integration of low temperature heat in a better way.

Klíčové slová:

- Food industry
- Process modeling
- Mashing process
- Energy efficiency
- Low temperature heat supply

## 2. Water, wastewater and waste management in brewing industries

Water and wastewater management constitutes a practical problem for the food and beverage industry including the brewing industry. In spite of significant improvement over the last 20 years, water consumption and disposal remain critical from an environmental and economic standpoint. This paper gives an overview of the world beer market in order to highlight the heterogeneity in capacity of global beer production. From a synthesis of existing literature, water consumption is analysed and the most common treatments and the associated costs are reported. Finally, biological and technical alternatives including membrane operation processes and economic reality are described.

Klíčové slová:

- Breweries
- Water
- Waste management
- Technical alternative
- Membrane process

### 3. The brewing industry and environmental challenges

The brewing industry is one of the largest industrial users of water. In spite of significant technological improvements over the last 20 years, energy consumption, water consumption, wastewater, solid waste and by-products and emissions to air remain major environmental challenges in the brewing industry. This article reviews some of these challenges with a focus on key issues: water consumption and waste generation, energy efficiency, emission management, environmental impact of brewing process and best environmental management practices which do not compromise quality of beer. The review is meant to create an awareness of the impact of beer production on the environment and of, practices to reduce environmental impact.

Klíčové slová:

- Brewery industry
- Wastewater
- Solid wastes
- Energy efficiency
- Enviromental sustainability

## 4. Highlights on energy efficiency improvements: a case of a small brewery

The aim of the study is to provide a deep analysis of the potential impact of energy efficiency improvements by focussing on the evaluation of energy consumption and efficiency in various subdepartments at a small brewery - the locus of our research. To thoroughly analyze the specific energy consumption, an analysis of the historical energy consumption data, as well as an electricity consumption monitoring was carried out. The acquired knowledge significantly adds to the existing body of research, particularly by providing detailed data on energy consumption by different types of packaging equipment and through an in-depth analysis of energy efficiency in brewing and, uniquely, by analyzing the barriers to implementation of energy efficiency measures over time. The analysis of the brewery's energy consumption, shows that it significantly exceeds recommended benchmarks, so an in-depth analysis of heat losses in the brew house and energy monitoring in the packaging department were performed to identify the source of the inefficiency and the potential improvements. The aim of the electricity monitoring was also to acquire detailed consumption data to enhance company's stakeholders' awareness and scope for decisions regarding energy efficiency. The results of electricity monitoring show large variation of specific energy consumption for various types of packaging, with much lower specific consumption for packaging in metal barrels than previously reported in literature. As separate measurements were performed for subsections of packaging lines, it is possible to identify causes for under-implementation of energy efficiency and to propose specific improvements for each of the subsections. In addition to technological aspect, also the energy efficiency barriers were considered. Building on the typical energy efficiency barrier studies, a distinctive approach to analyze the barrier dynamics over time is applied. It is concluded that in the case brewery the main perceived barriers have not changed over five-year period, even though some successful energy efficiency interventions have been implemented. The provided results from electricity monitoring in the packaging department of brewery may be further applied for development of individual process, industry and national benchmarks.

Klíčové slová:

- Energy intensity
- Small brewery
- Heat losses
- Energy monitoring
- Benchmarking

## 5. Technical Achievements in Energy Conservation by Beverage-related Processing Industries: Breweries, Dairies, Distilleries and Maltings

Patterns of adoption and adaptation of a wide range of energy-conserving technologies were observed in 1983-1984. Wide differences occurred in the various subsectors with regard to their willingness to test and invest in relatively new technologies (e.g. heat-pump applications in the malting industry) and their limited adaptation of better established technologies (e.g. minimal use of heat-recovery plant in the dairy industry). The most widely employed techniques were low-energy lighting and power-factor correction, both of which generate significant savings with minimal alteration to process plant and working methods, are capable of great flexibility in their mode of application, and can be installed independently for small parts of the total plant, in a step-by-step manner. The generally disappointing findings are associated with internal management attitudes to full systematic treatments of energy-cost problems (e.g. lack of application of usable accounting and monitoring systems), artificially high barriers to investment, especially in smaller organisations, and widespread lack of commitment to, and understanding of, relevant innovation procedures. Site-specific constraints are also important in some older production facilities.



## Abstract:

The food industry is accounted as energy non-intensive. Breweries are relative big consumer of energy. The energy cost constitute up to 8 % of the total production costs, based on the brevery capacity. The marshing and wort boiling processes are large consumers of thermal energy. The energy efficiency management is in breweries often undervaluated due to low acquisition. Temperature profile in marshing process changes, new waste disposal technologies applications, energy audits can help to reduce production costs, water consumption, CO2 emissions.

## Súhrn:

Uvedené publikácie sa zaoberajú hlavne spôsobmi zníženia nákladov pri výrobe piva. Autori chceli ukázať možnosť zníženia nákladov zavedením technologických novinek do procesu ako aj využiť matematické modelovanie na hľadanie lepších podmienok pri varení piva.

Prvá práca sa zaoberá vytvorením matematického modelu výroby piva, pomocou ktorého sa bude sledovať vplyv zmeny v technológii na spotrebu energií na ohrev a chladenie. Na minimalizáciu spotreby energií sa použil auditorský nástroj EISTEIN [9]. Uvádza sa tu v krátkosti technológie používané na rmutovanie, varenie sladiny a chladenie, k tomu aj spôsoby regenerácie tepla. Na modelovanie rmutovania sa použil kinetický model opísaný v prácach [7] a [8]. Použitý model fermentácie mladiny je opísaný v tejto práci [6]. Porovnaním výsledkov navrhnutého modelu a reálnej prevádzky autori došli k záveru, že model má prijateľnú chybu. Model dosahoval len 90 až 80 % z reálnej spotreby energie, podľa autorov táto odchýlka je spôsobená stratami, ktoré v modeli vyjadrili účinnosťami. Pomocou kinetického modelu rmutovania autori našli vhodný teplotný režim, pričom znížili spotrebu energie a zachovali požadované vlastnosti sladiny. Jednalo o zníženie rýchlosti a času rmutovania. V práci sú len okrajovo opísané aké teplotné režimy použili. Na overenie autori urobili laboratórne testy, ktorými sa potvrdila správnosť výsledkov modelu. Podľa autorov môže model slúžiť na sledovanie zmien v technológii na spotrebu energií.

Druhý článok je zameraný na odpady vznikajúce pri výrobe piva a ich odstraňovaní. Pri filtrácii piva sa používa filtračná kremelina (diatomit). Po jej použití vzniká tuhý odpad, ktorý je klasifikovaný ako nebezpečný. Z ekonomického hľadiska najväčší náklad na filtráciu predstavuje kúpa tejto kremeliny a jej likvidácia po použití. Autori sa snažili poukázať na iné možnosti filtrácie piva a zneškodňovania odpadu, ako je membránová filtrácia a použitie pomocných regenerovateľných filtrov. Membránové filtre by sa dali využiť na oddelenie sladiny, filtráciu surového piva a studenú sterilizáciu piva. Autori tu uvádzajú príklad prevádzky, ktorá používa na filtráciu surového piva membránové moduly, problém so zanášaním membrán vyriešili zavedením cyklického preplachovania membrány. Po použití membránovej filtrácie pivo stále spĺňa požadované štandardy.

V tretom článku sa na výrobu piva pozerá z viacerých stránok, ktoré sú pomerne rozsiahle. V práci je dobre popísaný spôsob výroby piva, čo sa týka chemických procesov prebiehajúcich v jednotlivých krokoch výroby. Na výrobu 1 litra piva je potrebné 4 až 7 litrov vody. Ktorá sa používa nie len na varenie ale aj umývanie, chladenie, výrobu pary,... Ako odpad vzniká 3 až 10 litrov odpadovej vody na 1l piva. V práci je popísaný postup likvidácie odpadovej vody: filtrácia, sedimentácia, chemická úprava, biologická úprava,... Za spomenutie stojí technológia mikrobiálnych palivových článkov, ktoré dokážu z odpadovej vody vyrábať elektrickú energiu. V ďalšej časti sa práca zaoberá energetickým aspektom

výroby piva. Z celkových nákladov na výrobu piva náklady na energie predstavujú pomerne malú časť (3 až 8 %). Venuje sa tu pozornosť možnostiam redukcie spotreby energií a taktiež bariéram, kvôli ktorým sa často znižovanie spotreby energií blokuje. V práci je ukázaných 14 prípadových štúdií ako ukážka možností zníženia spotreby energií. Nakoniec sa v práci pozerá na pivovar z environmentálneho hľadiska.

Štvrtá práca je zameraná na energetický audit malých pivovarov v Litve, ktoré majú veľmi vysoké spotreby energie v porovnaní s malými pivovarmi v iných štátoch. Autori analýzou záznamom o spotrebe energií a porovnaním so spotrebami v iných malých pivovaroch určili možnú úsporu tepla a elektriny. Okrem toho v pivovare robili merania ktorými hľadali miesta, kde sú straty tepla. Ukázali, že hlavný zdroj strát predstavuje vyparovanie vody počas varenia mladiny. Autori navrhli ako opatrenie využiť túto paru na ohrev vody v akumuláčnej nádrži. Pre toto riešenie vypočítali návratnosť 1,1 roka. V práci sa rieši aj spotreba elektrickej energie pri stáčaní piva. Pivo sa stáča do 3 rôznych nádob: sklenených fliaš, plastových fliaš a kovového sudu. Merania autorov ukázali, že najväčšiu spotrebu elektrickej energie majú stroje na plnenie sklenených fliaš a na stáčanie sudov a plastových fliaš sú spotreby rovnaké. Spotreba elektrickej energie na balenie plastových fliaš však násobne prevyšuje spotrebu na stáčanie. Autori túto spotrebu zdôvodnili tým, že baliaci stroj na plastové fľaše sa používa aj pri ručnom stáčaní piva. V práci sa na záver hovorí o prekážkach, ktoré bránia zvyšovaniu energetickej efektívnosti. Jednou takou je, že aj napriek vysokej spotrebe energie v porovnaní s pivovarmi v zahraničí je to stále malá položka a teda podnik dáva prednosť riešeniu iných problémov.

Piaty článok je z roku 1986 je to viac menej prieskum akým spôsobom pivovary, mliekarne a sladovne vo Veľkej Británii dokázali znížiť spotrebu energií počas rokov 1983 -1984. Autori v práci ukazujú aké spôsoby na zníženie strát podniky použili ale nie je tu nejaké číselné vyhodnotenie, ktorý spôsob aký výsledok dosiahol. Najviac používané spôsoby šetrenia energie podľa práce sú: používanie svietidiel s vyššou účinnosťou, regenerácia tepla pri chladení mladiny a používanie kompenzátorov účinníka (power-factor correction). Najzaujímavejšia časť práce je na konci o sladovníctve, v ktorom sa riešia možnosti využitia vznikajúcej vodnej pary. Jednou z možností je využitie tepelného čerpadla. Ukázalo sa však, že v tej dobe nebolo vhodnou voľbou kvôli častým poruchám takéhoto systému. Okrem toho v prípade použitia tepelného výmenníka sa dosiahla lepšia doba návratnosti.

Zo študovaných publikácií sa len prvá zaoberala modelovaním procesu výroby piva a následne model využili na hľadanie lepšieho tepelného režimu pri varení piva. Pre prípad, že by bolo potrebné zostaviť vlastný matematický model výroby piva uviedol som do doplnkovej literatúry článku kde sú opísané kinetické modely použité v prvej práci. Druhá práca sa zaoberá len teoretickými poznatkami a uvádza 1 príklad využitia membrány. Tretia práca je veľmi rozsiahla a prináša hlavne teoretické poznatky, v ktorých autori išli do hĺbky. Tento článok by som určite odporučil na prečítanie, poskytuje

množstvo číselných údajov a informácií okolo výroby piva. Štvrtá práca predstavuje energetický audit malého pivovaru, v ktorom autori analyzovali množstvo prevádzkových údajov a realizovali vlastné merania za účelom nájdenia potenciálnych miest na zníženie spotreby energií. Piata práca pôsobí dojmom prieskumu medzi pivovarmi za účelom zistenia aké opatrenia vykonali na zníženie spotreby energií a či sa im to oplátilo. Táto práca je z roku 1986 a teda doby návratnosti a ceny uvedené v práci nemusia mať dnes veľkú platnosť. V prácach 3 a 4 autori hovorili o bariérach, kvôli ktorým sa často zanedbáva zvyšovanie energetickej účinnosti procesov.

## Doplňková literatúra:

[6] Trelea, I., et al.: Predictive modelling of brewing fermentation: from knowledge-based to black-box models, *Mathematics and Computers in Simulations* 56 (2001), 405-424

[7] Koljonen, T., Hänäläinen, J., Sjöholm, K., Pietilä, K.: A model for the Prediction of Fermentable Sugar Concentrations During Mashing, *Journal of Food Engineering* 26 (1995), 329-350

[8] Marc, A., Engasser, J. M.: A Kinetic Model of Starch Hydrolysis by  $\alpha$ - and  $\beta$ -Amylase during Mashing, *Biotechnology and Bioengineering* 25 (1983), 481-496

[9] <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien935.pdf> : Guide for EISTEIN Thermal Energy Audits, návod na energetický audit použitý v prvej práci, spomína sa aj vo štvrtej práci, 22.1.2017