

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Технологије и постројења за пречишћавање воде и ваздуха

Број индекса: 358/2016

Данило П. Вермезовић

**Биолошки третман отпадних вода у
пиварској индустрији**

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Професор др Вања Шуштершич
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да:

- опише технолошки поступак у индустрији пива;
- опише процесе третмана отпадних вода у индустрији пива;
- прикаже решења третмана отпадних вода у свету и код нас;
- опише рад једног постројења, изврши прорачун и прикаже 3D модел;
- уради техно - економску анализу.

Препоручена литература:

[1] Драган Повреновић, Милена Кнежевић, Основе технологије пречишћавања отпадних вода, Технолошко – металуршки факултет, Београд, 2013.

[2] Главни пројекат објекта за сакупљање, пречишћавање и испуштање отпадних вода ‘‘Јагодинске Пиваре’’ АД у градску канализацију града Јагодине на К.П. БР. 4010 К.О. Јагодина, Параћин, Децембар, 2013.

[3] Марија Вуковић, UASB reactor – Upflow anaerobic sludge blanket digestion (анаеробна дигестија муља), Семинарски рад из предмета: Напредне технике у третману вода, Крагујевац, 2018.

[4] Amit Dhir, Chhotu Ram, DESIGN OF AN ANAEROBIC DIGESTER FOR WASTEWATER TREATMENT, Vol. 1, No. 5, November, 2012.

Крагујевац, фебруар 2018.

Ментор:
др Вања Шуштершич, ред. проф.

Резиме:

У овом раду размотрен је биолошки третман отпадних вода у индустрији пива. На почетку су описани технолошки поступци у индустрији пива, као и процеси третмана отпадних вода у индустрији пива. Даље кроз рад, приказана су техничка решења третмана отпадних вода у свету и код нас. Дат је опис рада UASB реактора, чији је основни задатак издвајање биогаза из отпадне воде путем анаеробне дигестије. Описан је рад постројења на основу предложеног техничког решења и извршен је прорачун компоненти које чине саставни део датог постројења, у циљу конструисања 3D модела за анаеробни третман отпадних вода у индустрији пива. На самом крају извршена је техно - економска анализа са циљем да се прикажу инвестициона улагања и економска рентабилност пројекта.

Кључне речи: отпадне воде, индустрија пива, биолошки третман отпадних вода, биогаз, анаеробна дигестија

Abstract:

In this master's thesis, the biological treatment of wastewater in the breweries industry is considered. At the beginning, the technological procedures in the beer industry are described, as well as the processes of wastewater treatment in the beer industry. Further through work, the technical solutions of wastewater treatment in the world and in our country are presented. It's given the description of work UASB reactor, whose basic task is to extract biogas from wastewater by way of anaerobic digestion. It's described the work of plant on the proposed technical solution and the calculation of the required components was executed, in order to construct the 3D model for anaerobic treatment of wastewater in the beer industry. At the end, a techno - economic analysis was executed with the aim of showing investments and economic profitability of the project.

Keywords: wastewater, brewery industry, biological treatment of wastewater, biogas, anaerobic digestion

Садржај

1. Увод.....	6
1.1 Сировине за производњу пива	7
2. Технолошки поступак у индустрији пива	8
2.1. Производња слада	8
2.2 Производња пива.....	9
3. Преглед стања у сектору индустрије пива.....	18
4. Загађивање вода индустријским отпадним водама	22
4.1 Прехрамбена индустрија.....	22
4.2 Процеси третмана отпадних вода у индустрији пива	26
4.2.1 Примарни третмани.....	28
4.2.2 Секундарни третмани.....	33
4.2.3 Терцијални третмани	41
5. Приказ решења у свету и код нас.....	45
5.1 Пример третмана отпадних вода у пивари у Јапану	46
5.2. Принцип рада постројења у Немачкој	47
5.3. Пример постројења за третман отпадних вода у АД Пивари – Ниш	48
5.4 Пример постројења за третман отпадних вода у Јагодинској пивари.....	51
6.0 Предлог решења за третман отпадних вода у индустрији пива	54
6.1 UASB реактори.....	56
6.3 Прорачун постројења за третман отпадних вода у пивари.....	59
6.4 3Д модел постројења	67
7. Техно - економска анализа UASB реактора	72
8. Закључак.....	74
Литература	76

1. Увод

Пиво је једно од најпопуларнијих и најстаријих алкохолних пића у историји, које се добија непотпуним врењем воденог екстракта јечменог слада уз додатак хмеља. Производи се процесом алкохолног врења из слада, хмеља, воде и пивског квасца. Главни део напитка је вода, па стога пиво садржи мали удео алкохола. Слад се добија од житарица, најчешће од јечма и даје пиву састојке екстракта од којег зависи укус и концентрација основног екстракта пива. Хмељ побољшава пиво и даје му угодан мирис и горак укус, док пивски квасац изазива алкохолно врење у којем шећер прелази у алкохол и угљен диоксид [1].

Пиво се пре свега посматра као пиће пријатног укуса које гаси жеђ. Међутим, пиво има и одређену хранљиву вредност јер у њему има угљених хидрата и азотних материја. [2].

Главни састојци пива (слика 1) су вода, алкохол, угљендиоксид и екстракт (неферментисани део екстракта основне сладовине).



Слика 1. Финални производ “Пиво” [2]

Загађење вода представља најкомплекснији глобални еколошки проблем. Свако загађење које се емитује у животну средину доспева до подземних вода, река, језера и мора. Загађења земље сливају се у површинске и подземне водене токове.

Природна или кондиционирана вода, пошто је једном искоришћена за одређену намену постаје отпадна вода. Том приликом у њен састав улази мања или већа количина различитих примеса – загађивача (полутаната), односно њене физичке, хемијске и биолошке карактеристике се у току употребе толико мењају да она постаје неподобна за ону употребу при којој је и настала.

Производња пива одвија се у више фаза које су међусобно зависне па су потребни стални надзори и добра организација. У технолошком процесу производње, уз управљање сировинама и људским ресурсима, потребно је посебну бригу посветити сигурности радника [1].

У наставку овог рада детаљније ће бити објашњени технолошки поступци у индустрији пива, процеси третмана отпадних вода у индустрији пива, приказ решења у свету и код нас, као и опис самог постројења где је извршена техно-економска анализа.

1.1 Сировине за производњу пива

За производњу пива употребљавају се сировине јечам, хмељ вода и квасац. Квалитет сировина и познавање физичко – хемијских особина и утицаја на технолошке процесе представља основу за њихову прераду и производњу квалитетног пива [3].

Јечам (слика 2) је основна сировина за производњу слада. Због великог садржаја скроба и плевике, која је неопходна у процесу бистрења комине, обезбеђује природни филтрациони слој [3].



Слика 2. Јечам [2]

Хмељ (слика 3) даје пиву горак и ароматичан укус и битно утиче на квалитет и стабилизацију пива [3].



Слика 3. Хмељ [2]

Вода је највише заступљена у пиву зато кажемо да је вода „костур” пива. Поред тога што вода утиче на биохемијске процесе у производњу пива, она је неопходна и у технолошком поступку производње слада [3].

Квасац (слика 4) се додаје у хладну хмељну сладовину ради превођења ферментабилних шећера у алкохол и угљендиоксид, под утицајем ензима [3].



Слика 4. Пивски квасац [2]

2. Технолошки поступак у индустрији пива

2.1. Производња слада

Пиварски слад се добија клијањем пиварског јечма. Пиварски слад даје пиву екстракт од којег зависи укус, пуноћа, боја и јачина пива (садржај етил - алкохола) [4].

Технолошки поступци за производњу пиварског слада састоје се од следећих операција [4]:

- Чишћење и сортирање зрна пиварског јечма;
- мочење (квашење) јечма;
- клијање зрна;
- сушење пиварског слада;
- ослобађање сувог слада од клица.

Чишћење и сортирање зрна пиварског јечма

Јечам се очисти, сортира, вага, складишти и транспортује у сладару [4].

Мочење

Јечам се препумпа у очишћене мочионике напуњене водом. Основна улога мочења јечма је да се обезбеди довољна количина воде за клијање, уклоне штетне гљивице са површине зрна и да јечам набубри што би повећало обим зрна. После завршене фазе мочења навлажени јечам се пребаци на клијалишта [4].

Клијање

Процес клијања јечма у производњи слада назива се клијање. Основни задатак клијања је накупљање максималних количина активних ензима у зрну. Клијање је најважнија операција при добијању пиварског слада. Интензитет клијања и биохемијски процеси могу се регулисати, па се могу производити различити типови слада (светли, тамни и многи други) [4].

Сушење пиварског слада

Након завршетка клијања од зрна се добија полупроизвод који се назива зелени слад. У пиварама се зелени слад подвргава сушењу у циљу накупљања ароматичних и бојених материја и његовог превођења у производ који се дуго може чувати [4].

Полирање (ослобађање сувог слада од клица)

Слад се после сушења полира, чисти од сладних клица, складишти и након 21 дана транспортује се у пивару [3].

Ови наведени процеси представљени су на технолошкој шеми (слика 5), као и операције кроз које пиварски јечам мора да прође, приликом производње слада.

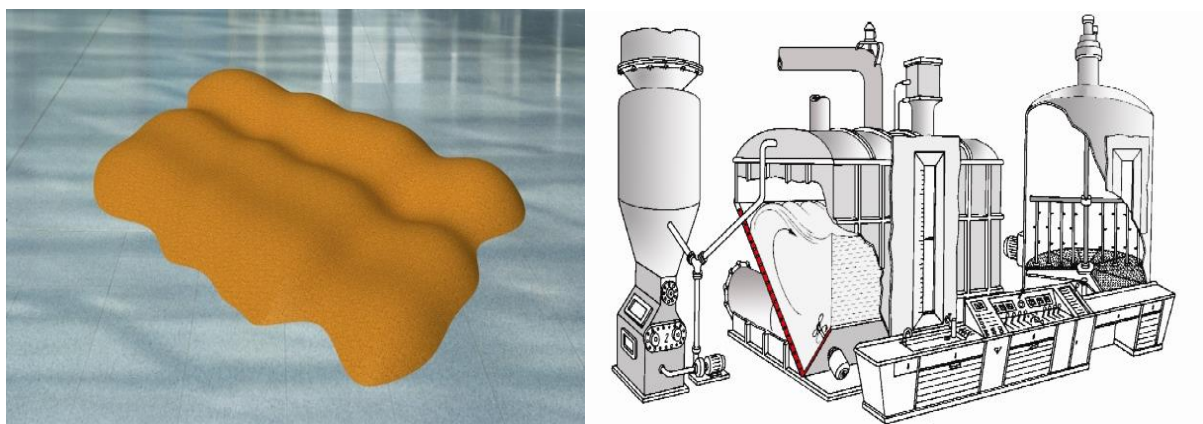


Слика 5. Производња слада [5]

2.2 Производња пива

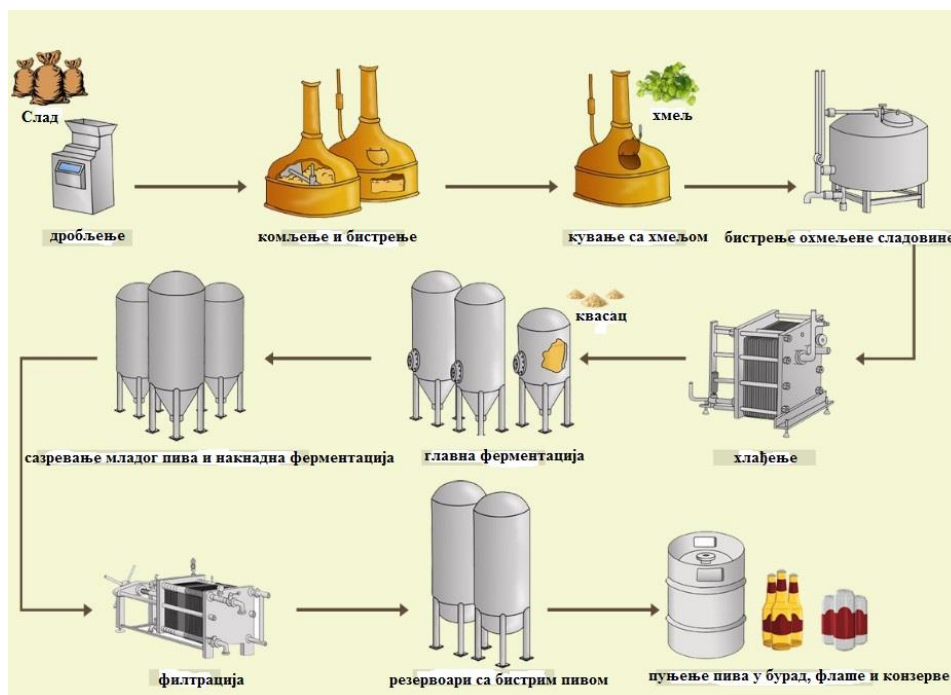
Слад

Слад (слика 6) је екстрактовани водени раствор састојака воде и хмеља. Производи се у погону који се назива хидроаутоматска варионица (слика 7).



Слика 6 и 7. Слад (лево), хидроаутоматска варионица (десно) [2]

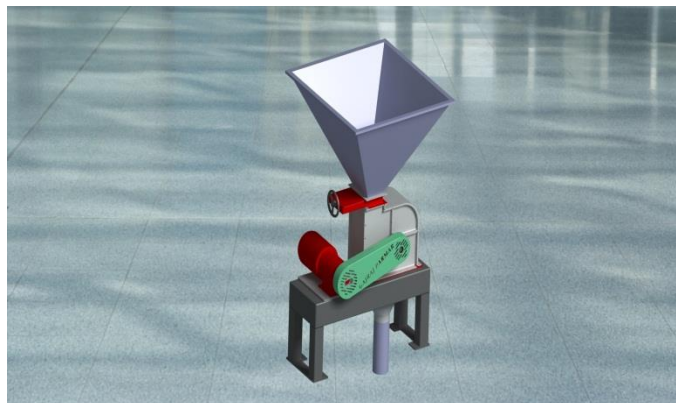
На следећој слици 8 приказана је технолошка шема производње пива, као и процеси који ће бити описани у наредном делу.



Слика 8. Технолошка шема производње пива [2]

Дробљење слада

Дробљење слада (слика 9) представља механичку припрему слада за екстракцију. Главни задатак дробљења слада је олакшавање и убрзавање физичких и биохемијских процеса растварања садржаја зрна у току укомљавања. Слад мора бити чист и сортиран. На принос екстракта утиче и ступањ уситњавања слада. Код дробљења слада поставља се задатак да се плевице не оштете много [6].

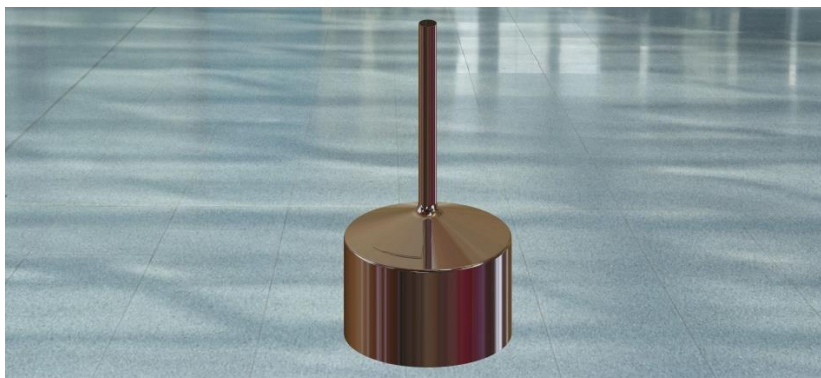


Слика 9. Уређај за дробљење слада

Комљење

Суштина процеса укомљавања лежи у преводјењу нерастворних материја слада и несладоване житарице у растворни облик путем ензимске хидролизе. Састојци слада растворљиви у води су: шећери, део беланчевина и производи њихове разградње. Све ове супстанце брзо прелазе у раствор, а најзначајнији део зрна слада, кога чини скроб, није растворљив. Поред скроба има још један део беланчевина у сладу који је у

нерастворљивом облику. Да би могли прећи у раствор, главни састојци зрна: скроб и беланчевине морају се даље разградити путем ензимске хидролизе. На слици 10 представљен је резервоар са мешање комине [7].



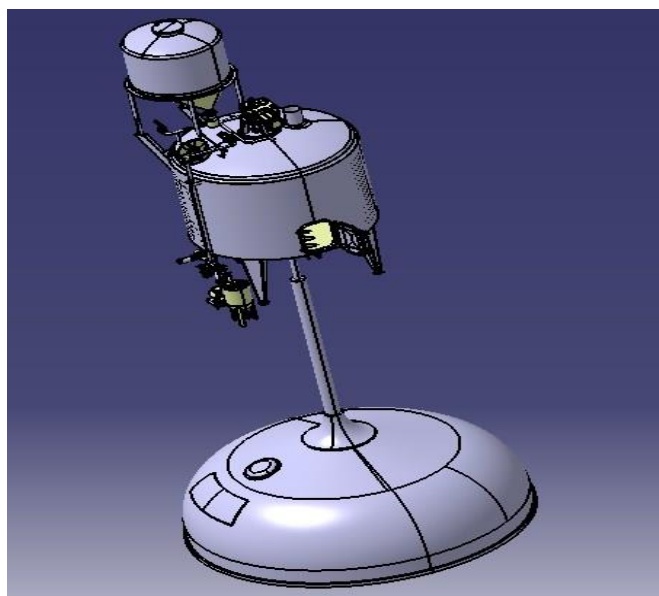
Слика 10. Резервоар за мешање комине

Бистрење ошећерене комине

Бистрење ошећерене комине је фаза у којој се користе бистрионици (слика 11) или филтер - пресе, како би се одвојио течни део, првенац, од чврстог дела тропа [2].

Кување сладовине са хмељом

Код кувања сладовине са хмељом горке и ароматске материје прелазе у сладовину, а беланчевине се издвајају у крупне пахуљице које се постепено таложе и сладовина се бистри. Кување се обавља у котловима (слика 11) на атмосферском или над притиску [8].



Слика 11. Котао за кување слада са хмељом повезан са бистриоником

У току процеса кувања дешавају се следеће физичко - хемијске промене [8]:

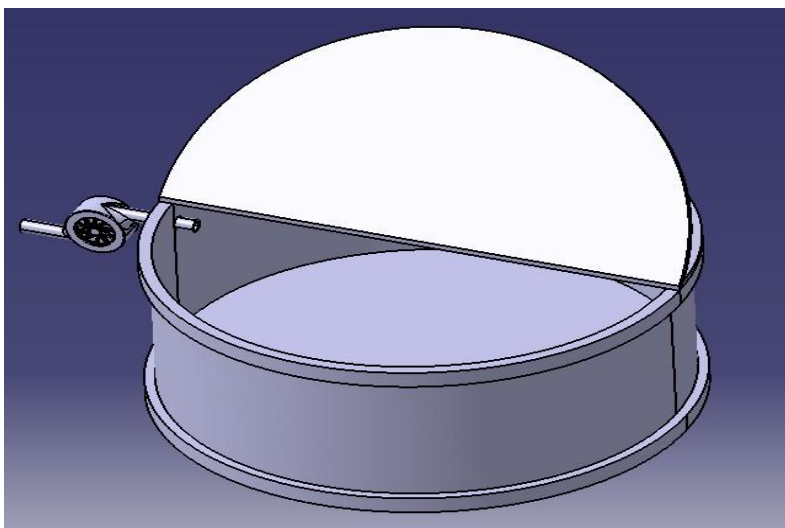
- Разградња и растварање хмеља и његових прерађевина, екстракта у једноставније спојеве;
- коагулација беланчевина и издвајање беланчевина у виду пахуљица;
- испаравање воде у циљу постизања стандардне концентрације основног екстракта;
- стерилизација сладовине;
- инаktivација ензима;
- бојење сладовине;
- оксидација сладовине;
- образовање редукујућих материја.

Задатак кувања је стабилизација састава сладовине уз горе наведене физичко - хемијске промене. Са додатком хмеља постиже се његова екстракција која утиче на квалитет пива (укус, биолошку стабилност, пену). Крај кувања се практично одређује према концентрацији екстракта у сладовини, према издвајању беланчевина у виду пахуљица и прозирности вруће сладовине. У сладовини и пиву налазе се материје које се вежу са кисеоником и стварају нерастворни облик танинско - беланчевинских комплекса који су узрочници замућења пива услед дугог стајања. Због тога је важно да у сладовини постоје редукујуће супстанце које могу да сузбију оксидацију која настаје аерацијом. Ове супстанце су тзв. редуктони, долазе са сировинама у сладовину, и стварају се у процесу кувања [8].

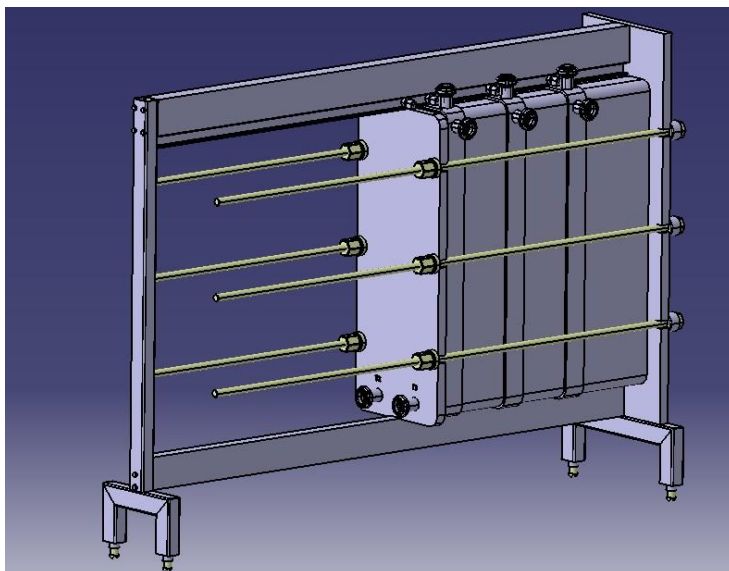
Хлађење и бистрење охмељене сладовине

Задатак процеса хлађења је снижавање температуре која одговара потребама почетног стадијума врења и засићавање кисеоником из ваздуха у циљу постизања врења. Осим тога треба да се издвоји талог како би се добила бистра сладовина као једна од основних претпоставки за пиво високог квалитета. У сладовини која долази на хлађење налазе се беланчевине које чине фини талог. Снижењем температуре оне се таложе као и друге материје. За време хлађења сладовина се мора заситити кисеоником из ваздуха и ослободити грубог талог. У вези овог захтева сладовина се хлади у две фазе, па добијамо две врсте талог - врући и хладни талог [8].

Бистрење охмељене сладовине помоћу вртложног сепаратора (слика 13) представља фазу у којој се врши одстрањивање топлог и хладног талог који настаје кувањем сладовине. Након бистрења врши се хлађење преко плочастог измењивача топлоте (слика 14) који доводи слад до почетне температуре врења где се врши процес аерације и пребацује га на врење [2].



Слика 13. Сепаратор за одвајање топлог и хладног талогa насталог кувањем сладовине



Слика 14. Плочасти размењивач топлоте који врши функцију хлађења екстракта

Врење (главно и накнадно врење)

Врење је најважнија фаза у производњи пива. Од врења зависи врста и квалитет готовог производа. Процес врења почиње додавањем пиварског квасца у сладовину. У главном врењу већи део шећера разлаже се до етил - алкохола и угљен - диоксида, а у накнадном врењу ферментише се остатак шећера, стварају се букетне материје, пиво се бистри и засићује угљендиоксидом [2].

У пиварству се углавном користе квасци доњег врења, прилагођени алкохолном врењу сладовине при ниској температури са мањим или већим степеном превирања [2].

Што се тиче главног и накнадног врења охлађена сладовина се меша са квасцем, након чега почиње ферментација током које, шећер који може да преври, прелази у алкохол (етанол) и угљендиоксид. Током главног врења највећа количина шећера

прелази у алкохол. Ово врење се обавља у уређајима за ферментацију, затвореним или отвореним танковима (слика 15) и траје од 5 до 10 дана. Главно врење се обавља на различитим температурама, у зависности да ли се користе квасци горњег или доњег врења [2].



Слика 15. Уређај за ферментацију

По завршетку **главног врења** добија се мутно, младо пиво, непријатне ароме и укуса. Зато се врши одлеживање (сазревање) у затвореним резервоарима (слика 16), у лежишном делу и накнадно врење под притиском. У овој фази долази до лагане ферментације остале количине шећера и до избистравања пива и његове карбонизације [2].



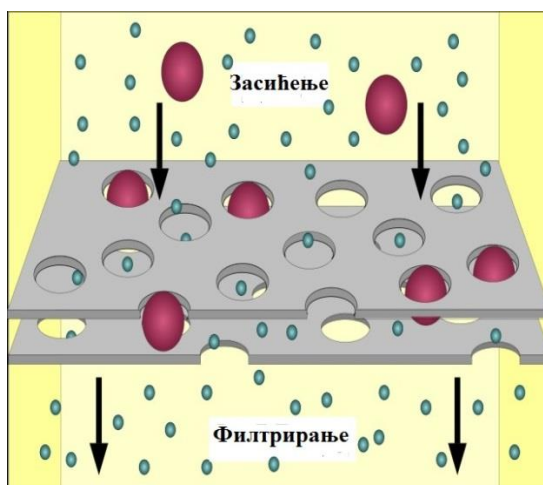
Слика 16. Резервоари за складиштење пива у којима се одвија процес сазревања

За **накнадно врење** карактеристична је лагана ферментација шећера, при којој се одигравају исти процеси као код главног врења, али они теку спорије. У току зрења мења се укус младог пива, при чему долази до смањења горчине који се објашњава процесима коагулације и разградње хмељних смола. Накнадна ферментација траје до 20 дана [8].

Филтрација

Завршетком накнадног врења, одлежано пиво има карактеристичне сензорне особине. Ипак, ово пиво се не може пунити још увек јер нема адекватан степен бистрине. Због овога се пиво пре отпреме на тржиште мора филтрирати како би се одстраниле честице које стварају мутноћу. Филтрацијом (слика 17) се из пива одвајају хмељне смоле, протеини, ћелије квасца и друге суспендоване честице које се налазе у

одлежалом пиву. Пиво је потребно филтрирати без присуства кисеоника. На слици 18 приказан је филтар за пиво [4].



Слика 17. Филтрација пива [9]



Слика 18. Филтар за пиво

Стабилизација пива

Што се тиче самог процеса стабилизације пива ту се одигравају следећи процеси [2]:

- Бистрење пива и отклањање преосталих ћелија квасаца;
- колоидна стабилност;
- биолошка стабилност и
- карбонизација пива.

Бистрење пива и отклањање преосталих ћелија квасца врши се помоћу површинске или дубинске филтрације [2].

Колоидна стабилност пива је једна од најважнијих карактеристика квалитета пива, а одређује се бројем дана у току којих се квалитет пива не мења [4].

Биолошка стабилност пива постиже се и пастеризацијом. Повишене температуре уништавају микроорганизме, односно квасце који могу проузроковати кварање пива. Пиво се пастеризује у протоку у плочастим измењивачима топлоте по режиму 68 - 72°C /30 - 50 секунди. Пиво у лименкама се пастеризује у тунелским

пастеризаторима по режиму 58 - 65°C / 10 - 20 минута. Пастеризација на вишим температурама знатно смањује квалитет пива [4].

Карбонизација пива врши се уколико је потребно допунити количину CO₂ која се смањила услед обраде пива на nižем притиску [2].

Пуњење пива

Филтрирано пиво долази у танкове под притиском у којима треба да се задржи 8 – 12h пре пуњења. Задржавање пива у резервоарима има сврху да се пиво охлади на температури 1 - 2° како би се спречило пенушање у процесу преливања пива. Пиво се пуни под изобарометарским притиском. Под овим појмом се подразумева константни против - притисак угљен-диоксида којим се омогућава нормално пуњење пива и који спречава губитак угљен - диоксида и оксидација пива [8].

Пиво се пуни у стаклену, лимену и PET амбалажу. Пре самог пуњења потребно је извршити технолошку припрему боца и остале пратеће процесе пре самог пуштања у транспорт ка кориснику, а то су [2]:

- Прање боца;
- контрола опраних боца;
- пуњење боца;
- затварање боца;
- лепљење етикета на боце и;
- стабилизација садржаја боце.

Процењује се да се око 70% пива пуни у боце, 20% у лименке и око 10% у бурад.

Бурад (слика 19) представљају најстарију амбалажу за транспорт пива. Пуњење буради данас је у највећој мери механизовано, а делом и аутоматизовано. Дрвено буре које је коришћено вековима данас је практично ишчезло. Користе се цилиндрична и трбушаста бурад од алуминијума, хром - никл челика или других легираних материјала [4].



Слика 19. Бурад за пиво

Пиво се највише конзумира из **стаклених боца** (слика 20), које могу бити повратне и неповратне. Предност стаклених боца је што се могу једноставно опрати, пунити и затварати. Стакло је отпорно на утицај органских материја из пива. Пиво се може пастеризовати у боцама, или само пиво се у протоку пастеризује. Стаклена боца је отпорнија на хабање и спречава излаз угљен - диоксида из пива, као и улаз кисеоника у боцу. Смеђа боја стакла боце штити пиво од продора UV зрака, што обезбеђује дужу трајност пива у боци [3].

Лименке (слика 20) за пуњење пива се израђују од белог лима или алуминијума. Лименке од алуминијума су најлакше, али се оне лакше и деформишу. Пиво напуњено у лименкама је неопходно пастеризовати у тунел - пастеризатору [3].



Слика 20. Пуњење пива у стаклене боце и лименке [2]

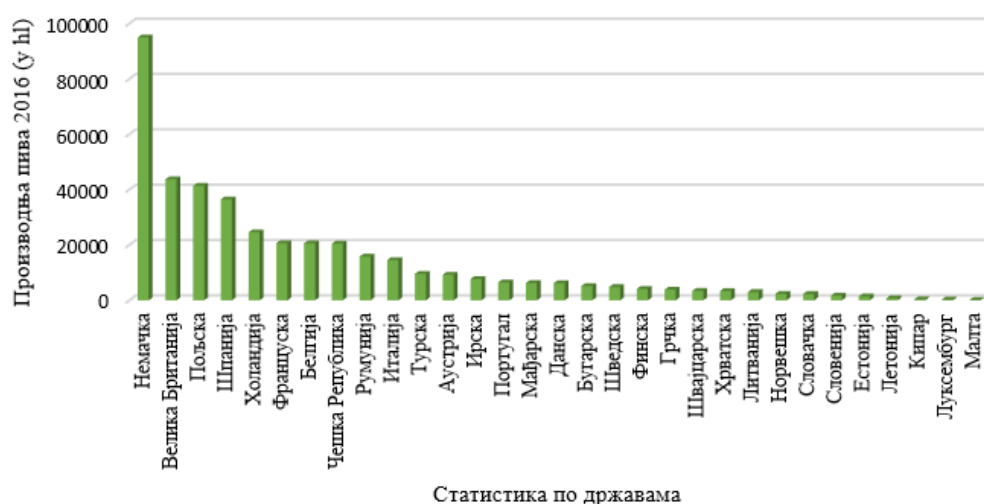
Пуњење у **РЕТ амбалажи** захтева коришћење боца које се производе са трослојним или вишеслојним реактивним слојем који спречава губљење угљен - диоксида и улаз кисеоника. Пиво напуњено у РЕТ боцама подложно је већем утицају светлости. Трајност пива је смањена у односу на трајност пива у стакленим боцама или лименкама [4].

Пуњење пива у **буради, флаше и конзерве** се одвија под повишеним притиском, и постоје два основна принципа [4]:

- Пуњење под истим притиском (када се у боци и пуњачу успостави исти притисак отвара се улаз за пиво, након чега се услед разлике висина боца пуни пивом) и
- пуњење под диференцијалним притиском (пиво се потискује у боце под додатно повишеним притиском).

3. Преглед стања у сектору индустрије пива

Према статистици из 2016. године, производња пива је значајно порасла у односу на ранији период, првенствено због субвенција и пореских олакшица које државе дају својим пиварским индустријама. У производњи пива земља која предњачи је Немачка, као економски гигант са 94957 *hl* на годишњем нивоу. Затим, на другом месту је Велика Британија са 43734 *hl* и Пољска на трећем са 41369 *hl*. Међу последњим државама спада Кипар са 365 *hl*, Луксембург 290 *hl* и Малта са 170 *hl* на годишњем нивоу. На дијаграму (слика 21) је приказана производња пива за 2016. годину (у *hl*).



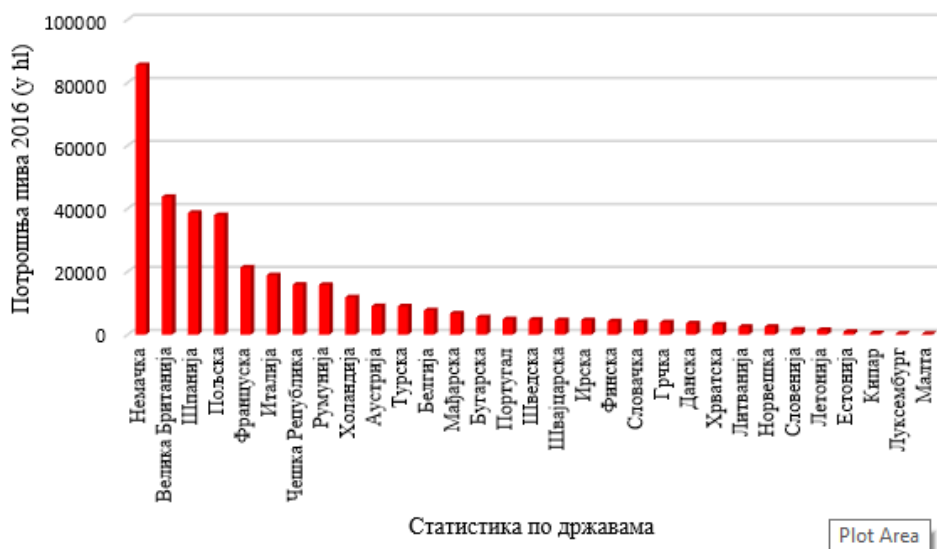
Слика 21. Производња пива 2016. год. (у *hl*)

У табели 1 приказана је производња пива по државама, у периоду од 2010. до 2016. године. Табела садржи податке за 28 земаља, чланица ЕУ (Европске Уније) и 3 државе које нису чланице ЕУ. На крају сваке године приказана је укупна производња пива (у *hl*), где се могу видети осцилације (порасти и падови) произведене количине пива у периоду од 2010. до 2013. године, док је у току 2013. производња била у благом порасту.

Табела 1. Производња пива по државама у периоду од 2010. до 2016. године

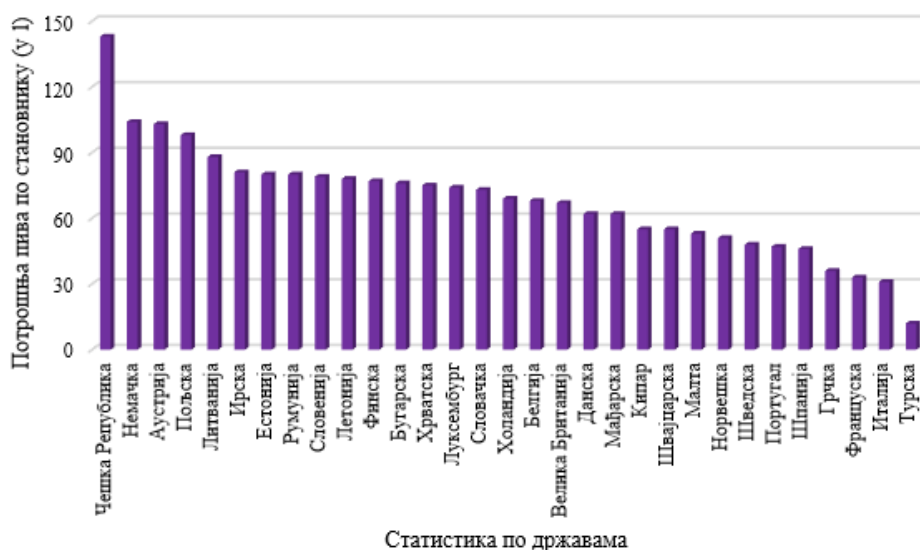
Држава	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.
Аустрија	8670	8917	8924	9045	9001	9023	9227
Белгија	18122	18571	18751	18138	18207	19811	20616
Бугарска	4800	4820	4992	5112	4890	4960	5180
Хрватска	3438	3738	3634	3408	3405	3379	3348
Кипар	340	314	329	322	318	341	365
Чешка Република	17550	18043	18692	18690	19129	19530	20475
Данска	6335	6590	6080	6166	6110	5970	6200
Естонија	1312	1360	1433	1465	1608	1398	1416
Финска	4235	4220	4030	4020	4010	3970	4100
Француска	16290	17100	17600	18300	19850	20300	20650
Немачка	95683	95545	94618	94365	95274	95623	94957
Грчка	3940	3700	3745	3750	3700	3820	3827
Мађарска	6295	6249	6312	6181	6239	5965	6239
Ирска	8249	8514	8195	8008	7288	7755	7680
Италија	12814	13410	13293	13256	13521	14286	14515
Летонија	1455	1529	1405	1467	968	856	739
Литванија	2925	2922	2841	2886	3172	3108	2,999
Луксембург	310	302	292	281	271	287	290
Малта	130	127	135	138	146	154	170
Холандија	24128	23644	24271	23636	23726	24012	24559
Пољска	36647	38067	39294	40001	40075	40890	41369
Португал	8312	8299	7986	7323	7290	6465	6474
Румунија	16920	16900	18000	16110	14750	15950	15780
Словачка	3112	3123	3206	2883	2648	2434	2312
Словенија	1902	1984	1819	2011	2098	2029	1696
Шпанија	33375	33575	33029	32691	33601	34960	36469
Шведска	4788	3845	4711	4755	4643	4689	4782
Велика Британија	44997	46605	44329	44186	44336	44039	43734
Укупно EU 28	387164	393013	391856	388594	390274	396004	400168
Норвешка	2385	2298	2260	2296	2250	2290	2360
Швајцарска	3539	3546	3515	3370	3432	3438	3422
Турска	10279	10164	11013	9809	10252	9819	9567
Укупно	403367	409022	408644	404069	406208	411551	415517

Према статистици из 2016. годину потрошња пива је била у порасту, као и сама производња. Узрок тога је висок БДП (брuto домаћа производња) које државе имају, укључујући добру потрошачку корпу која је повезана са куповном моћи становника. Претежно у потрошњи пива предњачи Немачка са својим становништвом од укупно 85532 *hl* на годишњем нивоу. Затим на другом месту је Велика Британија са 43731 и Шпанија на трећем са 38634 *hl*. Међу последњим државама по потрошњи пива спадају Кипар са 468 *hl*, Луксембург 312 *hl* и Малта са 231 *hl* на годишњем нивоу. На дијаграму (слика 22) је приказана потрошња пива за 2016. годину (у *hl*).



Слика 22. Потрошња пива 2016. год. (у *hl*)

Што се тиче саме потрошње пива по становнику на самом врху је Чешка Република са 143 *l* на годишњем нивоу. Затим је прате Немачка са 104 *l* и Аустрија са 103 *l*, док је међу последњим државама Француска са 33 *l*, Италија 31 *l* и Турска са 12 *l* на годишњем нивоу. На следећем дијаграму (слика 23) приказана је потрошња по становнику (у *l*).



Слика 23. Потрошња пива по становнику (у *l*)

Приликом анализе статистичких података за 2016. годину, дошло се до информација да је Велика Британија највећи увозник са 10585 *hl* на годишњем нивоу, док је највећи извозник Немачка са 16527 *hl* на годишњем нивоу. Број активних пивара у свету у 2016. год. је био 9381, а малих пивара је било 7715. У пиварском сектору број запослених за 2016 годину био је 128594 радника из разних стручних области, везане за пиварску индустрију. Поред Европских држава у којима се налазе пиваре, извршен је попис и активних пивара у Србији (табела 2), како би се дошло до сазнања које су пиваре још увек активне, где је њихова локација, као и колики је њихов капацитет.

Табела 2. Активне пиваре у Србији

Активне пиваре у Србији	Локација
ЗBig brewery - Збир пивара	ул. Надежде Петровић бр. 7, Нови Сад, Србија 21000
Апатинска Пивара (Molson Coors)	ул. Трг Ослобођења 5, Апатин, Србија 25260
БИП - Београдска Индустрија Пива	ул. Булевар војводе Путника 5 - 3, Београд, Србија 11000
Бунт 99 - МИНИ пивара доо	ул. Маршала Толбухина 42, Београд, Србија 11070
Carlsberg Србија	ул. Пролетерска бр. 17, Челарево, Србија 21413
Царство Пива	ул. Душана Васиљева бр. 15, Нови Сад, Србија 21000
Dogma Brewery	ул. Јурија Гагарина бр. 14В 7, 45, Нови Београд, Београд, Србија 11070
Heineken Србија - Зајечар	ул. Жељезника бр. 2, Зајечар, Србија 19000
Каš Balkan Brewtopia	ул. Прегревица 4, 11080 Земун, Србија
Корс Мини Пивара	ул. Батајнички Друм бр. 3, Земун, Београд, Србија 11080
Krughet & Brent	ул. Петру Албу бр. 20, Ритлишево, Србија 26361
Нишка Пивара	ул. Игманска б.б., Ниш, Србија 18000
Пивздарија	Београд, Србија 11000
Принц Пивара	ул. Шабачка бр. 6, Омољица, Панчево, Србија 26230
Салто Пиво	Београд, Србија
The Black Turtle	ул. Вука Караџића бр. 1, Кукујевци, Србија 22207
Ваљевска Пивара	ул. Бирчанинова бр. 151, Ваљево, Србија 14000

4. Загађивање вода индустријским отпадним водама

Индустријске отпадне воде значајно се разликују од санитарних и комуналних отпадних вода, како по количини тако и по саставу. Такође постоје велике разлике између отпадних вода из појединих индустрија. У наредном тексту размотрене су карактеристике загађујућих супстанци из отпадних вода појединих врста индустријске производње [10].

4.1 Прехрамбена индустрија

Поред тога што је велики потрошач воде, прехрамбена индустрија ствара знатне количине значајно загађених отпадних вода, што показују подаци дати у табели 3. Пошто у састав највећег броја прехрамбених производа не улази већа количина додатне воде (изузетак су нпр. пиво, сладолед, освежавајућа пића), практично сва вода која је уведена у погон излази из њега као отпадна вода у разним облицима. Из укупног збира може се изузети мала количина воде, која је испарила или је расута у околину [10].

Заједничка и основна карактеристика отпадних вода из ове индустрије је да су загађујуће супстанце које садрже претежно органског карактера (суспендоване, колоидно дисперговане или у облику правог раствора), које су биоразградиве. У неким случајевима су присутна и бактерицидна средства која имају веома штетан утицај на околину и ометају поступке биолошког пречишћавања. У табели 4 дати су подаци о настајању и карактеристикама отпадних вода из прехрамбене индустрије, а у табели 5 степен њихове загађености [10].

Табела 3. Настајање и карактеристике загађености отпадних вода прехрамбене индустрије [10]

Врсте производње	Порекло	Последице
Конзервирање воћа и поврћа, прерада кромпира	чишћење, пресовање, полирање и сушење воћа и поврћа	појава суспендованих и колоидно диспергованих органских честица (шећери, органске киселине, протеини, скроб)
Конзерве меса и усолјених намирница	кланице, прерада, кондензати, вода од прања	појава суспендованих и растворених честица (крв, протеини, масти, NaCl) висок БПК ₅
Млекаре	растворено млеко, павлака, сир, прање опреме и погона	појава суспендованих и растворених органских честица (протеини, лактоза и масти), средстава од прања и дезинфекције, средње вредности БПК ₅
Шећеране	прање и транспорт репе, екстракција, кондензати, растур производа	висока концентрација растворених и суспендованих органских честица (шећери и протеини), висок БПК ₅

Пиваре и фабрике алкохола	прање и квашење зрна, органски талози, прање амбалаже и погона, кондензати, растур сировина и производа	појава суспендованих и растворених органских честица (шећери, протеини, скроб, квасац, алкохол), средства за прање, средње вредности БПК ₅
Фабрике квасца	талози, прање	појава суспендованих и растворених органских честица (шећери, протеини, квасац), средње вредности БПК ₅
Фабрике уља и маргарина	екстракција и рафинација, растур, прање амбалаже и погона	појава честица масноће, средстава од прања, висок салинитет, висок БПК ₅
Производња дехидратисаних и концентрисаних намерница	евапорација, прање, растур сировина и производа	појава суспендованих и растворених органских честица зависно од врсте сировина, средња вредност БПК ₅
Безалкохолна пића	прање амбалаже и погона, испуштање сирупа и производа	појава суспендованих и растворених органских честица (шећери), средстава од прања и дезинфекције, средња вредност БПК

Табела 4. Настајање и карактеристике загађености отпадних вода прехранбене индустрије [10]

Врста производње	Порекло	Последице
Фабрике скроба, скробних сирупа и глукозе	кондензати, прање, растурене сировине и производи	појава суспендованих и растворених органских честица (скроб, сахариди) средстава од прања, висок БПК ₅
Индустрија папира, папирна маса	кување, белјење, прање влакана, рафинирање масе	повећање ХПК и БПК, више суспендованих честица колоида и раствора, сулфити, променљива рН вредност
Хартија и картон	процеси машинске производње, дозирање, мешање	појава органских супстанци, влакана, глинице, титана, каолина, барита, пигмента, латекса, живине соли

Табела 5. Нутријенти у отпадним водама из неких погона прехранбене индустрије и из домаћинства [10]

Врста производње	Укупни азот (mg/l)	Укупни фосфор (mg/l)	Укупни азот / БПК ₅	Укупни фосфор / БПК ₅
Чипс од кромпира	250	25	0.13	0.013
Прерада од кромпира	125	60	0.05	0.024

Слаткиши	40	0.6	0.01	-
Конзервисан о поврће	45	15	0.03	0.01
Млекара	30 - 150	20 - 200	0.07	0.05
Безалко- холна пића	6 - 40	6 - 9	0.08	0.03
Воћни сокови	10 - 30	8 -30	0.0007	0.007
Пивара	30 - 100	10 - 30	0.05	0.02
Отпадна вода домаћин- ства	58	13	0.18	0.04

Отпадне воде прехранбене индустрије, поред високог органског загађења, садрже макронутријенте (N, P и K), због чега значајно доприносе еутрофикацији површинских вода. Овај утицај је нарочито неповољан за водоакумулације (природна и вештачка језера) и споре водотокове. Јасно је да се ова врста воде пре испуштања у површинске воде или изливања на земљиште претходно мора пречистити. За то су погодне комбинације механичких и аеробних биолошких поступака [10].

Важно је истаћи велики распон у степену загађености отпадних вода у зависности од врсте производње, али и велике разлике између нижих и виших вредности БПК₅ у оквиру једне производне врсте. То указује на различитост технолошких поступака и различитост примењених мера заштите животне средине.

Применом ефикасних мера заштите животне може се значајно смањити степен загађености отпадних вода, а приказане су на примеру једне пиваре.

Загађења која настају у појединим фазама производње, а која се могу наћи у отпадним водама су приказане у табели 6.

Табела 6. Фазе у производњи пива при којима настају загађујуће супстанце [10]

Фаза производње	Загађујуће супстанце
Комљење	Целулоза, хемицелулоза, шећери, беланчевине, и производи њихове разградње, детерџенти
Цеђење сладовине	троп, шећери, беланчевине, детерџенти
Кување и хмељење сладовине	хмељ, сладовина, детерџенти
Бистрење сладовине	талог сладовине, сладовина, детерџенти
Врење и одлеживање	беланчевинасти и други талози, квасац, пиво, детерџенти
Филтрација пива	филтрациона средства, квасац, беланчевине, пиво, детерџенти
Пуњење боца	пиво, етикете, лепак за етикете, детерџенти
Машине и уређаји	средства за прање и дезинфекцију, алкалије, киселине, минерална уља

Ако би се у свим фазама производње, које су наведене у табели 6 примениле мере заштите животне средине, пре свега унутрашња рецикулација или сакупљање загађујућих супстанци, уместо њиховог испуштања у отпадне воде, степен загађености отпадних вода би се значајно смањио, што показују подаци у табели 7 [10].

Табела 7. Збирне карактеристике отпадних вода пиваре (отпадних вода из појединих производних фаза, пре (1) и након (2) обраде) [10]

Показатељ квалитета	Збирне		Варијација и бистрење		Главна, накнадна врења	
	1	2	1	2	1	2
БПК ₅ , просек	1100	470	7600	2700	8500	2600
Укупни N (mg/dm ³)	45.8	24.1	161	69.6	189.9	78.5
Укупни PO ₄ ³⁻ (mg/dm ³)	18.4	11.3	35.7	21.2	69.7	31.6
Седиментне супстанце, (cm ³ /dm ³)	3.8	1.4	6	3.1	9	5.7
Жарени остатак (mg/dm ³)	491	385	687	495	667	438
pH	6.7	6.9	6.8	6.7	6.2	6.5

Слични ефекти смањења степена загађености отпадних вода могу се остварити и у највећем броју других погона прехрамбене индустрије. На пример, у производњи сира сакупљањем сурутке (течна фракција добијена након издвајања груша млека), у кланицама сакупљањем крви и других отпадака, у производњи воћне ракије сакупљањем цибре (остатак дестилације превреле комине воћа) итд. [10].

У табели 8 су приказани просечни параметри отпадних вода у пиварама.

Табела 8. Карактеристике отпадних вода у пиварама

Карактеристике отпадних вода из пиваре		
Параметар	Јединица	Вредност
pH (алкалитет, киселост)	/	3 - 12
Температура	(°C)	18 - 40
ХПК (хемијски потребна количина кисеоника)	(mg L ⁻¹)	2000 - 6000
БПК (биохемијска потрошња кисеоника)	(mg L ⁻¹)	1200 - 3600
Однос ХПК : БПК	/	1.667
VFA (испарљиве масне киселине)	(mg L ⁻¹)	1000 - 2500
Фосфати као PO ₄	(mg L ⁻¹)	10 - 50
TKN (тотални укупни азот)	(mg L ⁻¹)	25 - 80
TS (укупне чврсте материје)	(mg L ⁻¹)	5100 - 8750
TSS (укупне суспендоване чврсте материје)	(mg L ⁻¹)	2901 - 3000
TDS (укупне растворене материје)	(mg L ⁻¹)	2020 - 5940

4.2 Процеси третмана отпадних вода у индустрији пива

Пречишћавање отпадних вода представља смањење или елиминацију негативних утицаја отпадне воде на водопријемнике и животну средину уопште. Пречишћавање отпадних вода обавља се применом различитих физичких, хемијских и биолошких поступака. Они се обављају у посебно изграђеним и за то намењеним базенима - реакторима [11].

Отпадна вода добијена из прехранбене индустрије је биоразградива. Обично постоје промене у количини насталих отпадних вода. Максимални проток може да буде 2.5 - 3.5 пута већи од просечног. Максимални протоци временски кратко трају. Појава максималних протока у вези је са процесима чишћења машина. У пунионици, максимални протоци се јављају у току престанка рада линије за испирање боца или када уређај за тунелску пастеризацију не ради. Појава максималних протока је повезана и са испирањем филтера [12].

У току **примарног третмана**, најважнији је процес неутрализације. Код **секундарног третмана** може се применити аеробни и / или анаеробни процес. За третман отпадних вода из пиваре најзаступљенији је **аеробни процес са активним муљем**. Међутим, предност анаеробног процеса је у томе што није потребно (или је потребно у малој количини) додавање нутријената (хемикалија која је потребна организму за живот и раст, или супстанца која се користи у метаболизму организма и која се уноси из околине). Уколико течност која истиче из постројења за третман отпадних вода има параметре веће од предвиђених услова $BPK < 15 \text{ mgO}_2/\text{l}$ и суспендоване материје $< 20 \text{ mg/L} - 30 \text{ mg/l}$ онда је неопходан **терцијални третман** [12].

У следећим табелама 9, 10 и 11 приказане су примарне, секундарне и терцијалне технике обрада отпадних вода које се могу применити у сектору производње пива.

Табела 9. Примарни третмани [12]

Примарни третмани
Решетке и сита (издвајање крупног отпада)
Сепаратори масти и уља
Уједначавање дотока и оптерећења
Неутрализација
Таложење / седиментација
Помоћни базен са скретањем тока
Центрифугирање
Преципитација (обарање)

Табела 10. Секундарни третмани [12]

Секундарни третмани	
Аеробни третмани	Анаеробни контактни процеси
Активни муљ	Узводни анаеробни муљни прекривач (енг. UASB)
Систем са чистим кисеоником	Реактори са унутрашњом циркулацијом (енг. ICR)
Секвенцијални шаржни реактори (енг. SBR)	Хибридни UASB реактори
Аеробне лагуне	Реактори са флуидизованим и проширеним слојем муља
Капајући филтери	Реактори са проширеним слојем грануларног муља (енг. EGSB)
Биолошки аерисани потопљени филтер и зароњени биолошко аерисани филтери	Аеробни / Анаеробни комбиновани процес
Анаеробни третмани	Мембрански био-реактори (енг. MBR)
Анаеробне лагуне	Мултифазни системи

Табела 11. Терцијални третмани [12]

Терцијални третмани
Биолошка нитрификација/дентрификација
Уклањање фосфора биолошким методама
Уклањање штетних и опасних супстанци
Филтрација
Мембранска филтрација
Дезинфекција и стерилизација
Обрада муља
Кондиционирање муља
Згушњавање муља
Дехидрација муља

4.2.1 Примарни третмани

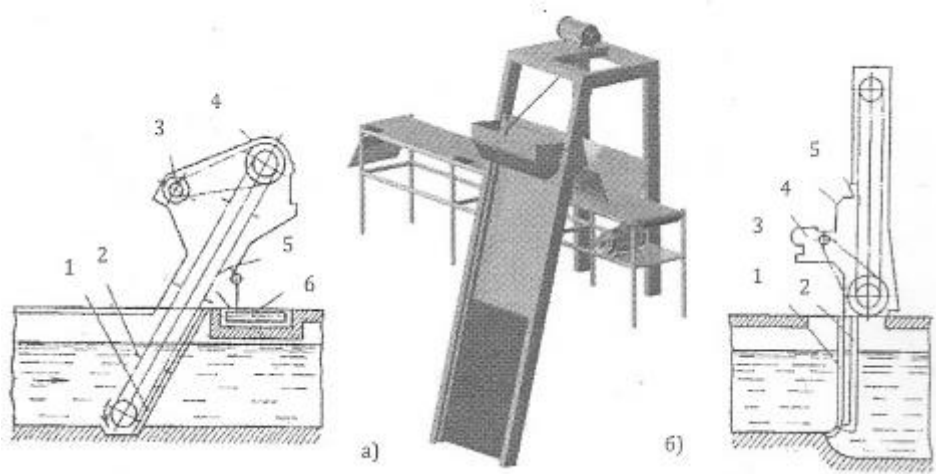
Прелиминарно пречишћавање представља први степен механичког пречишћавања, а састоји се од уклањања грубих састојака (папир, отпаци итд.), уклањања неорганских материја (песак, метални делови, стакло) и уклањање масти и уља [12].

Решетке и сита (издвајање крупног отпада)

Помоћу **решетки** уклањају се крупније, нераствориве и пливајуће материје из отпадних вода. Њихова улога је да штите уређаје и цевоводе од оштећења и загушења и да олакшају даљи третман отпадних вода. Решетке преграђују доводни канал и постављају се вертикално или под нагибом, најчешће $40^\circ - 70^\circ$ [13].

У односу на конструкциона решења решетке могу бити [13]:

- Косе и вертикалне (слика 24);
- покретне и непокретне;
- са ручним или механичким (аутоматским чишћењем);
- са дробљењем наноса и др.



Слика 24. 3D модел: а) косе, б) вертикалне решетке

1 - решетка; 2 - ланац; 3, 4 - погонски механизам; 5 - грабуље; 6 - транспортна трака [11]

Сито је објекат са отворима, најчешће истих величина који се користе за прикупљање чврстих материја које се налазе у отпадним водама. Сито се састоји од паралелних решетака, шипки или испреплетених жица. Како би се отклонили мањи комади крупнијих или ситнијих честица потребно је да размак између шипки не прелази 5mm.

Типови сита могу бити:

- Статички (крупнији или ситнији);
- Вибрирајући и
- Ротациони.

Статичко сито (слика 25) се може састојати од вертикалних шипки или од перфорираних лимених плочица. Овакав тип сита захтева аутоматско или ручно чишћење због непрекидног таложења, што ситнијих, па тако и крупнијих материја у отпадној води.



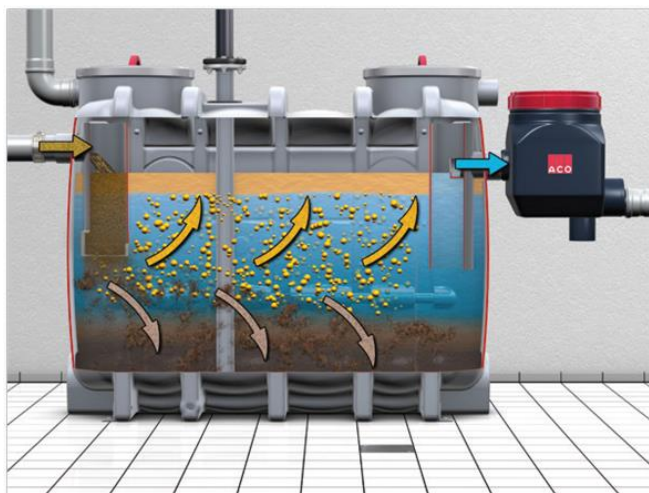
Слика 25. Статичко сито [14]

Сепаратори масти и уља

Из отпадне воде потребно је уклонити материје које су лакше од воде као што су:

- Уља и масти;
- комадићи сапуна;
- комадићи дрвета;
- плуте и слично.

Наведене материје изнад отежавају сам процес пречишћавања, а то се посебно односи на минерална уља у отпадним водама индустрије нафте и петрохемијске индустрије, али и у отпадним водама великих индустријских погона за моторна возила, као и у посебним погонима машинске индустрије. Материје лакше од воде се уклањају успоравањем тока воде, при чему се омогућава испливање чврстих материја на површину где се врши уклањање материја на одговарајући начин (слика 26) [11].



Слика 26. Самостојећи сепаратор и сепаратор за подземне инсталације

Уједначавање дотока и оптерећења отпадних вода

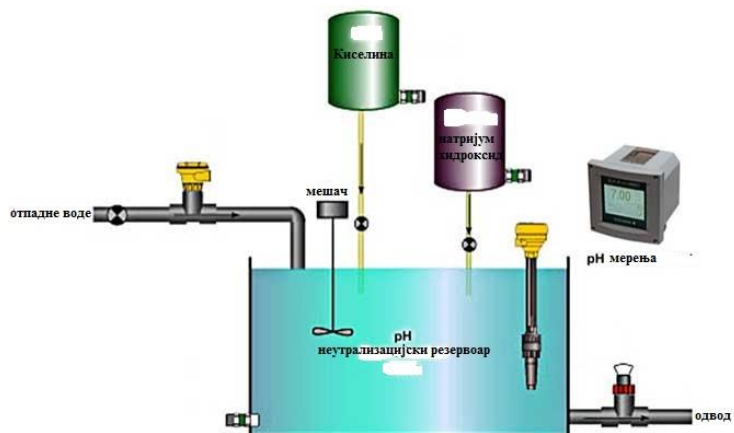
Егализациони базен (слика 27) усаглашава доток и састав отпадних вода при чему се контролише одговарајућа рН вредност отпадне воде.



Слика 27. Егализациони базен [15]

Неутрализација

Задатак неутрализације је да се избегне испуштање јаких киселина из отпадних вода, додавањем одговарајућих хемикалија. Применом неутрализације (слика 28) може се постићи висока ефикасност пречишћавања отпадних вода која може довести до финансијских уштеда и потреба ка даљим третманима отпадних вода.



Слика 28. Процес неутрализације [16]

За неутралисање отпадних вода са ниским рН вредностима обично се користе следеће операције [12]:

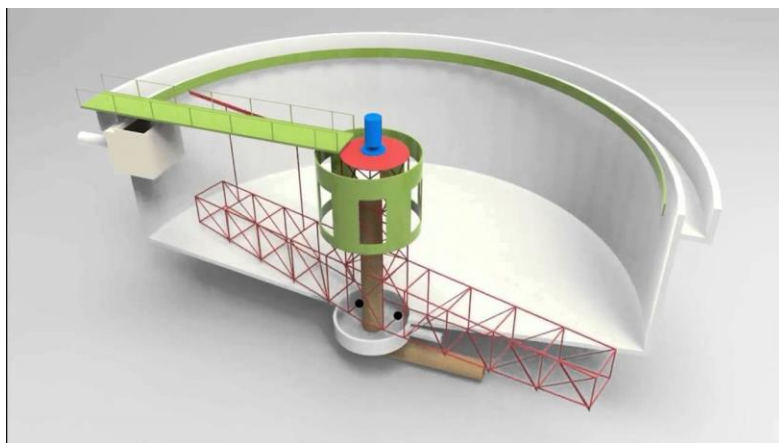
- Кречњак, емулзија кречњака или кречно млеко;
- натријум хидроксид или натријум карбонат;
- јонски измењивач – катјонски.

За неутралисање отпадних вода са високим рН вредностима обично се користи следеће [12]:

- Увођење CO₂ нпр. као гаса из ферментационих процеса;
- сумпорводонична киселина или хлороводонична киселина;
- јонски измењивач – анионски.

Таложење / седиментација

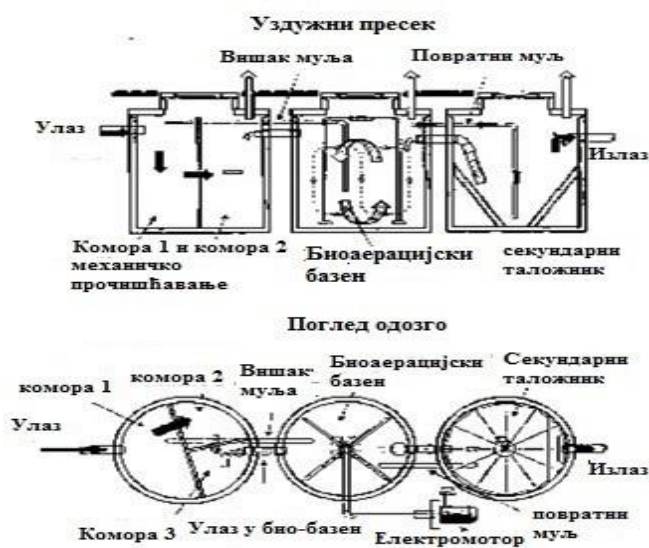
Примарном седиментацијом се омогућава таложење дискретних органских и неорганских суспендованих честица које се из система издвајају у облику муља. Конструкција примарних таложника треба да створи услове за успорено и равномерно кретање воде, довољно дуго задржавање отпадне воде, као и да обезбеди гравитационо таложење суспендованих честица. Таложници за примарну седиментацију (слика 29) могу бити са вертикалним, хоризонталним и радијалним током отпадне воде [11].



Слика 29. Кружни таложник са централним увођењем и радијалним током воде

Помоћни базен са скретањем тока

Основна функција помоћног базена је да вишак течности враћа у главни ток отпадне воде. Помоћни базен (слика 30) може бити повезан са базеном за изједначавање дотока и састава отпадних вода, или са примарним таложником.



Слика 30. Помоћни базен са скретањем тока [17]

Центрифугирање

Сам процес центрифугирања је прилично ограничен, нарочито за третман отпадних вода у пиварској индустрији. Постоје четири типа центрифуге, од којих се посебно издваја декантер центрифуге (слика 31), који има стандардну примену у процесу сепарације активног муља. Оваква центрифуга може да буде искоришћена за раздвајање честица, које су исувише мале да би се таложиле у постројењу за третман отпадних вода, јер користе већу гравитациону силу.

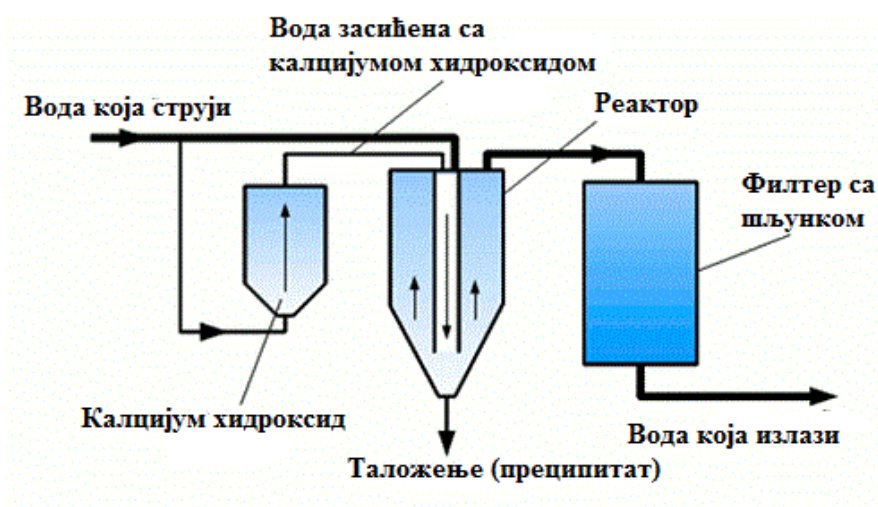


Слика 31. Декантер центрифуге [18]

Преципитација (обарање)

Техника преципитације се заснива на претварању супстанце растворене у води, у нерастворене честице путем хемијске реакције. Преципитација се такође може искористити и за уклањање фосфора у отпадној води. Сам процес преципитације се састоји из три дела [12]:

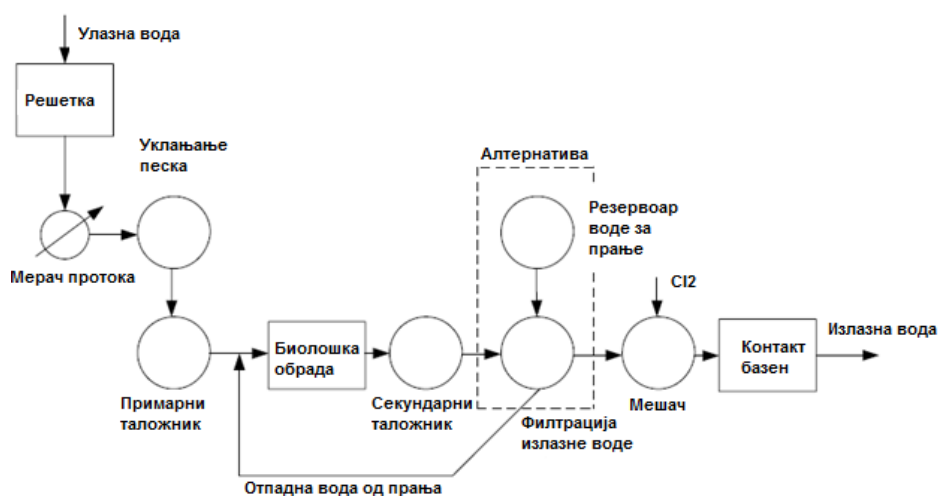
Први степен је коагулација колоиде/емулзије додавањем неорганских хемикалија као што су алуминијум сулфат или креч. Следећи корак је флокулација малих честица у велике који се могу лакше таложити или флотисати. Поред коагулације и флокулације, јавља се и преципитација (слика 32) металних хидроксида који апсорбују честице масти. Поред преципитације, муљ се уклања седиментацијом или флотацијом [12].



Слика 32. Процес преципитације [19]

4.2.2 Секундарни третмани

Биолошки процеси пречишћавања заснивају се на активности комплексне микрофлоре, које у току свог животног циклуса усваја органски и део неорганских материја које чине загађење отпадне воде, користећи их за одржавање животних активности и за стварање нових ћелија. Након завршеног пречишћавања обавља се, на погодан начин, сепарација микрофлоре и пречишћене отпадне воде, у којој заостаје мала количина органске материје која је биолошки неразградива као продукт метаболизма које је микрофлора излучила у воду. Биолошким пречишћавањем могуће је из отпадне воде уклонити највећи део органског загађења, али је немогуће потпуно пречишћавање. У систему пречишћавања отпадних вода биолошка обрада вода одвија се као секундарно пречишћавање, а после механичког, односно примарног пречишћавања (слика 33) [13].

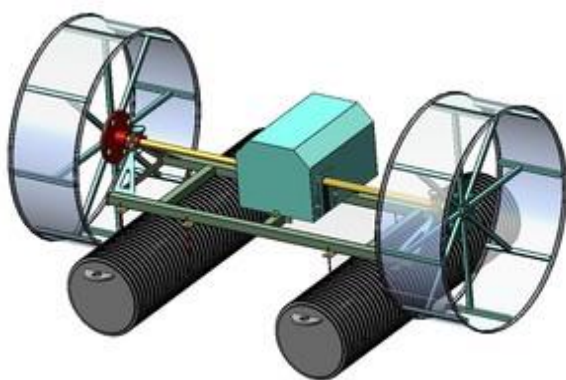


Слика 33. Типична технолошка шема биолошке обраде градских отпадних вода [11]

Биолошки процеси пречишћавања вода могу се одвијати као **аеробни** и **анаеробни**, уз помоћ аеробних или анаеробних микроорганизама. Разлика је у путевима биолошке оксидације органских материја. Аеробни процеси се користе за обраду вода са малом и средњом концентрацијом органских материја, а анаеробни за воде са великим органским оптерећењем. Анаеробни процеси су далеко више заступљенији код обраде отпадних вода [11].

Аеробни процеси

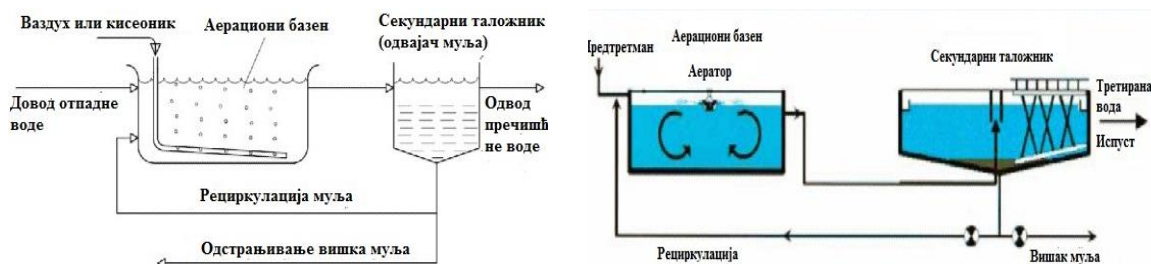
Аеробни процеси су више у употреби и исплативији тамо где је отпадна вода лако биоразградива. Убацивање кисеоника може се одвијати преко површине радног флуида, или убацивањем преко дифузора потопљених у отпадној води. Убацивање кисеоника преко површине омогућено је преко површинских аератора (слика 34) [12].



Слика 34. Површински аератор [20]

Активни муљ

Активни муљ (слика 35) је назив за биолошки активну биомасу аеробне микрофлоре, суспендоване у отпадној води у облику флокула, при чему се у флокулама сем живих, активних, микроорганизама, налазе и мртве ћелије као и органска (биоразградива и бионеразградива) и неорганска материја из отпадне воде која се пречишћава [21].



Слика 35. Процес са активним муљем [11]

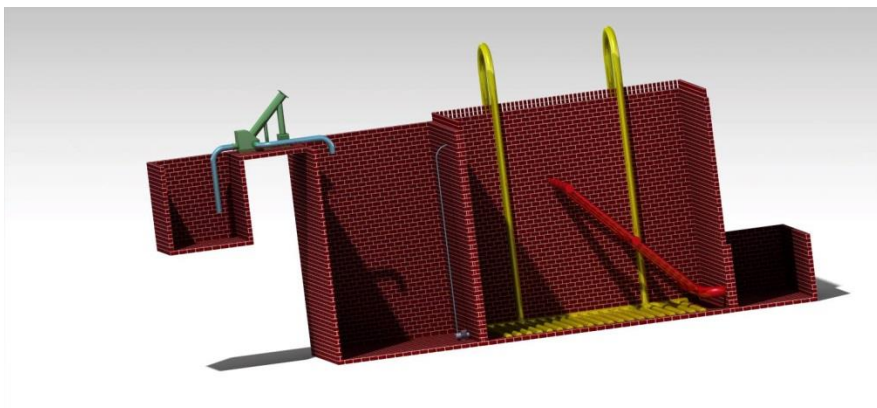
Поступци пречишћавања отпадних вода са активним муљем могу се изводити као системи без и системи са рецикулацијом. Независно од тога, сам систем чине аерациони базен и таложник, као обавезан сегмент. Да би се правила разлика у односу на таложње у примарној обради, он се назива секундарни таложник. У примарном таложнику се доминантно издваја инертни неоргански део и мањи део органског загађења, док се у секундарном таложнику из струје пречишћене отпадне воде издваја биомаса, односно органска компонента, са делом присутних инертних материја које није било могуће исталожити у примарном таложнику. У секундарном таложнику се таложе и суспендоване честице које су настале у самом процесу са активним муљем, попут бионеразградивих ћелијских делова насталих ендегеном респирацијом [21].

Системи са чистим кисеоником

Системи са чистим кисеоником служе за убацивање чистог кисеоника у постојеће аерисано постројење. Овај случај се примењује код повећања обима производње и у случају када се утврди да постојеће аеробно постројење није ефикасно.

Секвенцијални шаржни реактори (енг. SBR)

Секвенцијални шаржни реактор (енг. *Sequencing batch reactor*) (слика 36) је општи појам за тип уређаја који се широко користи у индустрији. У секвенцијалном шаржном реактору аерација и пречишћавање отпадне воде се дешава у истом резервоару. Свака следећа фаза је условљена завршетком претходне, што је гаранција сигурног и уједначеног пречишћавања. Уједначеност протока се обезбеђује преко компензационог базена [11].



Слика 36. 3D - Секвенцијални шаржни реактор

Аеробне лагуне

Аеробни биолошки начин пречишћавања отпадних вода спроводи се у лагунама (слика 37) и плитким базенима, где се обезбеђује довољна количина кисеоника процесом фотосинтезе. Примењује се такође и у подручјима са повољним климатским условима. У дубљим лагунама примењује се механичка аерација, уношењем ваздуха дифузорима на дно лагуне (примењује се у условима прекривености ледом) [13].



Слика 37. Аеробне аерисане лагуне [22]

Врста аеробне лагуне су аеробна језера (факултативне лагуне) (слика 38) у којима се пречишћавање отпадне воде одвија уз минималну регулацију, практично као природно самопречишћавање. Неопходна количина кисеоника обезбеђује се метаболизмом алги, а бактерије које разграђују загађење производе материјал за раст алги [13].

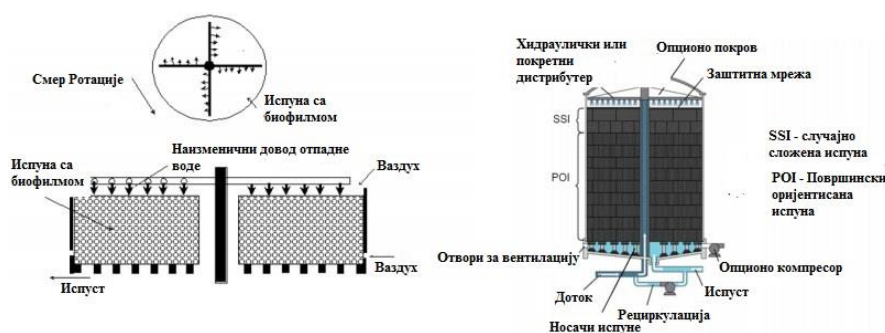


Слика 38. Аеробна језера [22]

Капајући филтери

Што се тиче принципа рада капајућег филтера (енг. *Trickling filter*), биомаса се развија на површини радног флуида који испуњава филтер, а отпадна вода се експлоатише преко радног флуида [21].

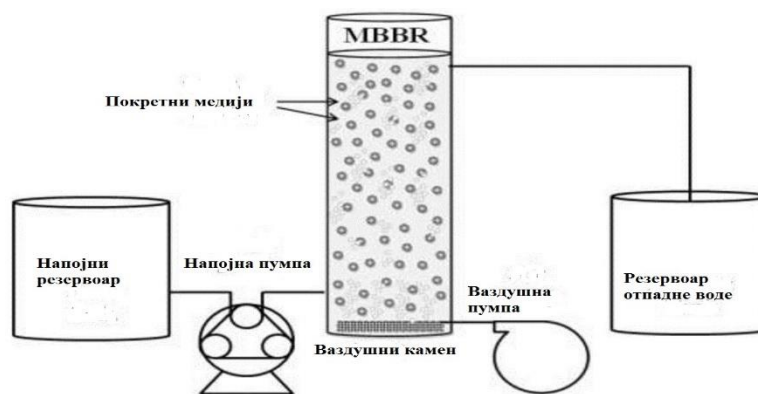
Капајући филтер (слика 39) се обично испуњава камењем или различитим врстама пластике. Пречишћена вода се скупља и одводи до таложника, где један део радног флуида може бити искоришћен за разблаживање отпадне воде [21].



Слика 39. Капајући филтер (лево) и модерни капајући филтер са пластичном испуном (десно) [23]

Реактор са покретним слојем биофилма (енг. *MBBR*)

Реактори са покретним слојем биофилма (енг. *Moving bed biofilm reactor*) (слика 40) су модификација капајућег филтера, с тим да се, за разлику од капајућег филтера, ваздух интензивно уводи на дну реактора, чиме се постиже интензивно мешање медијума у реактору, а самим тим и боља искоришћеност медијума (комплетан медијум учествује у процесу пречишћавања) [12].



Слика 40. Реактори са покретним слојем биофилма [24]

У процесу долази до аутодигестије муља, тако да је смањена количина отпадног муља. Муљ се одваја у таложнику иза реактора и један део се враћа у процес, а вишак се избацује [12].

Биолошки аерисани потопљени филтери и зароњени биолошки аерисани филтери (енг. SBAF)

Биолошки аерисани потопљени филтери (енг. *Submerged biological aerated filter*) и зароњени биолошки аерисани филтери су хибридни системи настали наношењем микроорганизама на инертни носач. Основна карактеристика ових система је велика специфична површина која омогућава бољи раст микроорганизама, а самим тим је и већи ефекат пречишћавања отпадних вода [12].

Анаеробни процеси

Основна разлика између аеробног и анаеробног поступака пречишћавања отпадних вода је у томе што анаеробни поступак подноси већа органска оптерећења и већу концентрацију загађења. Због тога се анаеробни процес користи при пречишћавању индустријских отпадних вода. Процес анаеробног пречишћавања заснива се на метанском врењу органског загађења отпадних вода, где се органски материјал преводи у смешу гасова (метан и угљен-диоксид). Употреба микроорганизама у одсуству кисеоника назива се анаеробна дигестија. Процес анаеробне дигестије одвија се у дигесторима [13].

Анаеробне лагуне

Анаеробне лагуне (слика 41) имају сличан принцип рада као аеробне лагуне, са том разликом да се не мешају бактерије у процесу стабилизације. Анаеробне лагуне могу изазвати штетне емисије непријатних гасова уз присуство H_2S .



Слика 41. Анаеробна лагуна [25]

Анаеробни контактни процеси

Анаеробни контактни процеси (слика 42) представља комбинацију дигестора са потпуним мешањем и уређаја за сепарацију флокулисане анаеробне микрофлоре, анаеробног муља, од пречишћене отпадне воде. Муљ се рециркулише у дигестору. Рецикулацијом муља се остварује дуже време задржавања активне микрофлоре у дигестору од хидрауличког времена задржавања отпадне воде, чиме се постиже већа ефикасност пречишћавања за краће време задржавања, тј. дигестор може бити мањи, а рад економичнији [11].



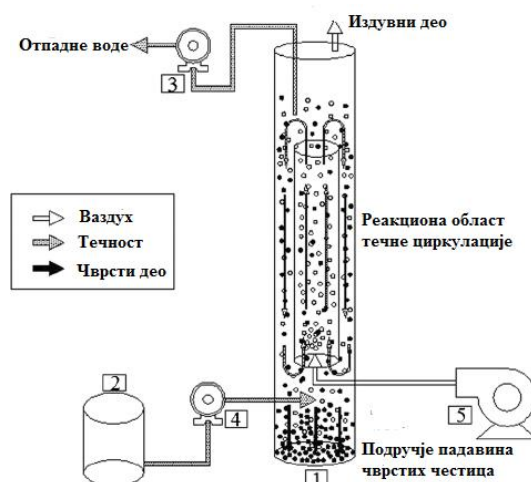
Слика 42. Анаеробни контактни процес [26]

Узводни анаеробни муљни прекривач (енг. UASB)

У оваквом систему (енг. *Upflow anaerobic sludge blanket digestion*), отпадна вода се усмерава на дно реактора због дистрибуције. Бактерија је носилац реакција и тада природна конвекција подиже мешавину гаса, третиране отпадне воде и гранула муља на врх реактора.

Реактор са унутрашњом циркулацијом (енг. ICR)

Специјална конфигурација реактора са унутрашњом циркулацијом (енг. *Internal circulation reactor*) (слика 43) се састоји из два дела реактора, који се постављају један на други. Први реактор је добро оптерећен, а други мање што доводи до подизања биогаса из прве фазе, који покреће ниво гаса, стварајући унутрашњу циркулацију отпадне воде и муља.



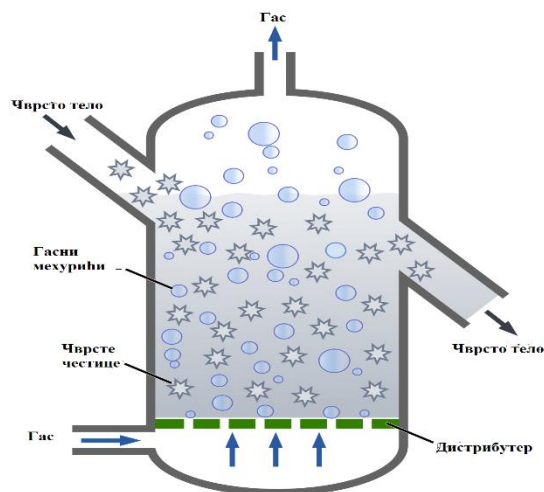
Слика 43. Реактор са унутрашњом циркулацијом [27]

Хибридни UASB реактори

Хибридни процес је промена конвенционалног UASB реактора. Ово могућава скупљање и задржавање негранулираних бактерија које би се у конвенционалним UASB реакторима изгубиле из процеса. Улога микроорганизама и медија у затвореној зони је да обезбеди задржавање биолошке чврсте материје у резерви и спречи испирање биомасе из реактора [12].

Реактори са флуидизираним и проширеним слојем (енг. FBR)

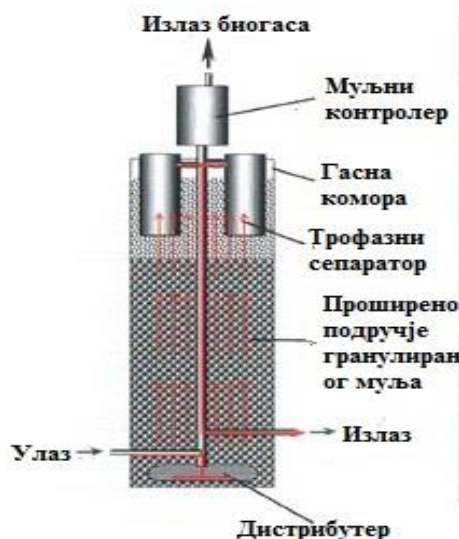
Ови реактори (енг. *Fluidized bed reactor*), су слични анаеробним филтерима. Ако се честице и биомаса у потпуности измешају, тада је то процес познат као флуидизирани слој (слика 44), док је делимично помешан систем познат као проширени (експанзион) слој [12].



Слика 44. Реактори са флуидизираним слојем [28]

Реактори са проширеним слојем грануларног муља (енг. EGSB)

Реактори са проширеним слојем гранулираног муља (енг. *Expanded granular sludge bed digestion*) (слика 45) раде са већим дубинама гранулираног муља и вишим нивоом подизања воде. Дигестор користи рециркулирану третирану воду и подешен је као трофазни (чврсти, течни, гасовити) сепаратор [12].

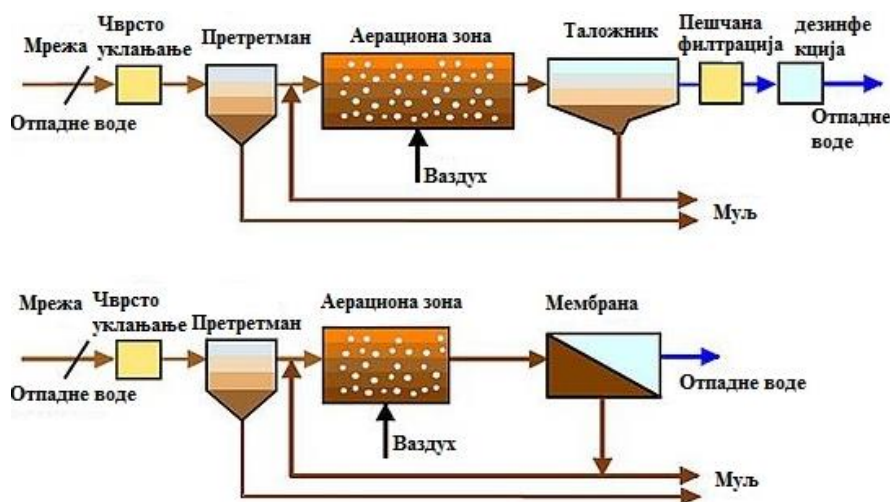


Слика 45. Реактори са проширеним слојем гранулираног муља [29]

Аеробни / анаеробни комбиновани процеси

Мембрански био-реактори (енг. MBR)

Мембрански биореактор (енг. *Membrane bioreactor*) (слика 46) је комбинација мембранског процеса попут микрофилтрације или ултрафилтрације са процесом обраде биолошких отпадних вода, активираниог процеса муља. Овај систем се широко користи за третирање комуналних и индустријских отпадних вода. МБР могу радити на аеробни или на анаеробни начин, чиме се повећава број одговарајућих хемикалија, нпр. за чишћење мембрана у биолошком третману [30].



Слика 46. Мембрански био-реактори [30]

Мултифазни системи

Разни аеробни и анаеробни процеси обраде отпадних вода се могу примењивати појединачно или у комбинацији. Када се примењују у комбинацији и то изведено серијски, та техника се назива мултифазни систем. Обрада отпадне воде се одвија узастопно по одвојеним фазама, које су међусобно раздвојене помоћу раздвојених муљних кругова [12].

У табели 12 приказана је упоредна анализа предности аеробног у односу на анаеробни систем.

Табела 12. Упоредна анализа предности аеробног у односу на анаеробни третман

Поређење аеробног третмана са анаеробним третманом		
/	Аеробни третман	Анаеробни третман
Потрошња енергије	Висока	Ниска
Производња енергије	Не	Да
Производња органске материје	Висока	Ниска
ХПК (%)	90 - 98	70 - 85
Уклањање нутријената (N/)	Висока	Ниска
Потреба за простором	Висока	Ниска
Дисконтинуитет операција	Тешка	Лака

4.2.3 Терцијални третмани

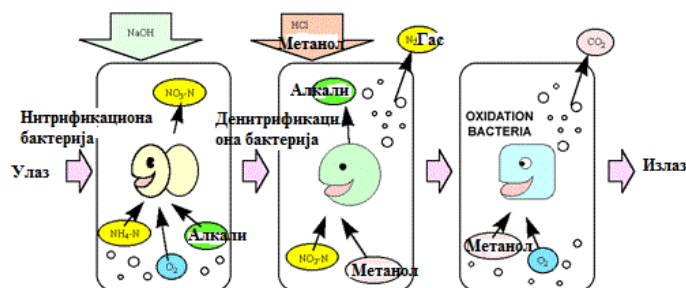
Трећи степен пречишћавања отпадних вода примењује се само у случајевима када је нужан врло висок степен пречишћавања, односно када је из отпадних вода потребно уклонити неке посебне материје (нпр. растворене соли, микроорганизме, пестициде, детерџенте, отровне и радиоактивне материје и сл.). Код комуналних отпадних вода трећи степен пречишћавања се најчешће примењује за уклањање хранљивих соли (првенствено азота и фосфора) након спроведеног секундарног третмана пречишћавања отпадних вода, како би се у водопријемнику спречио процес еутрофикације (процес повећаног уношења хранљивих материја) неког воденог екосистема [31].

Биолошка нитрификација / денитрификација

Нитрификација (слика 47) је термин који се користи за описивање двостепеног биолошког процеса у коме се амонијак, растворен у облику амонијум јона, NH_4 оксидише до нитрата NO_2 , а потом се нитрит оксидише до нитрата NO_3 [21].

У процесу денитрификације (слика 47) такође се мора уклонити нитратни облик азота из отпадних вода, који је настао у процесу нитрификације, уколико њихова

концентрација премаши максималну дозвољену концентрацију за одговарајући природни реципијент [21].



Слика 47. Биолошка нитрификација / денитрификација [32]

Уклањање фосфора биолошким методама

Биолошки поступци уклањања фосфора се врше конвенционалним поступцима биолошког пречишћавања где се уклања само мали део фосфата, 10% до 30%, који се уграђује у ћелијску биомасу. Међутим, у неким постројењима је примећено знатно већи део уклоњеног фосфора, што је приписано таложењу дела фосфора као калцијум фосфат, и биолошким уклањањем путем инкорпорирања фосфата између ћелија или апсорпције на ћелијама [11].

Уклањање опасних и штетних супстанци

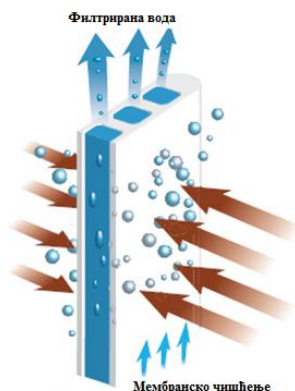
Органски растварачи, остаци пестицида, и токсичне неорганске супстанце могу се наћи у отпадној води. Уклањање многих од ових супстанци може бити реализовано одговарајућом употребом неких третмана, као што су седиментација, филтрација и мембранска филтрација. Уклањање може бити реализовано и употребом терцијалног третмана, као што су адсорпција угљеника и хемијска оксидација. Адсорпција угљеника је напредна метода за третирање отпадних вода [12].

Филтрација

Филтрација, односно спора филтрација, брза филтрација, дубинска филтрација, површинска филтрација, биофилтрација и коагулациона филтрација, може се користити као корак при отклањању чврстих материја из отпадне воде. Насупрот седиментацији или флотацији раствореним ваздухом, филтрација не захтева разлику у густини између честица и течности. Раздвајање честица и течности се обавља разликом у притиску између две стране филтера допуштајући пролазак воде кроз филтер. Филтери могу бити гравитацијски или филтери под притиском. Зависно од природе чврсте материје, могу се употребљавати стандардни песак или двоструки медијски филтер (песак / антрацит). Доступни су бројни трајно самопречишћавајући пешчани филтери који су доказано изразито ефективни приликом отклањања суспендованих материја из крајњих отпадних вода [12].

Мембранска филтрација

Процеси мембранске филтрације (слика 48) користе под притиском водену, полупропустљиву мембрану ради постизања селективног одвајања. Током рада, напојни раствор тече кроз површину мембране, чиста вода пролази кроз мембрану док се загађења и остаци отпадних материја задржавају у раствору [12].



Слика 48. Мембранска филтрација [33]

Дезинфекција и стерилизација

Дезинфекција је поступак инактивације живих организама у пречишћеној отпадној води, који изазивају разне болести и инфекције. Увек се изводи као последњи процес, пре испуштања пречишћене отпадне воде у неки природни реципијент. Технике дезинфекције и стерилизације раде по истом принципу. Делују на ћелијску структуру унутар бактерије и спречавају њену репродукцију (поновно стварање). Дезинфекциона средства која се користе у прехранбеној индустрији крећу се унутар захтева Директиве 98/8ЕС⁴¹ [34].

Технике обрада муља из отпадних вода

Отпадни материјал из процеса прераде отпадних вода требало би да има висок удео издвојених компонената и мали удео преостале влаге. Код већине постројења за пречишћавање продукти из процеса пречишћавања су у виду муља са масеним уделом воде 96 – 98%. Избор поступака обраде и одлагања муљева највише зависи од њихових карактеристика. Муљеви су, у општем случају, веома различити, нарочито муљеви пречишћавања индустријских отпадних вода. Од количине муља и концентрације суспендованих честица највише и зависи начин обраде муља [13].

Кондиционирање муља

Кондиционирање (стабилизација) (слика 49) је поступак којим се смањује, омета, или спречава (слабилизује) могућност даље биолошке разградње (труљења, гњечења) органског дела муља. Могућа је [31]:

- Хемијска стабилизација која се најчешће одвија са кречом, а могућа је и са хлором;

- топлотна стабилизација која се спроводи загревањем муља до 250°C при притиску до 27.5 bar;
- биолошка стабилизација која се темељи на поступцима анаеробне разградње органске материје (анаеробна дигестија) или на поступцима аеробне разградње органске материје (аеробна дигестија). Код већих уређаја уобичајена је стабилизација применом анаеробне дигестије, када се производи метански гас.



Слика 49. Кондиционирање муља [35]

Згушњавање муља

Згушњавање је поступак повећања концентрације чврсте материје у муљу, односно смањења воде, а тиме и смањење укупног волумена. Згушњавање муља се најчешће спроводи у згушњивачима, поступком таложења или испливавања муља [31].

Дехидрација муља

Уклањање воде (дехидрација) је поступак којим се из стабилизованог муља уклања слободна вода. Може се постићи на следеће начине [31]:

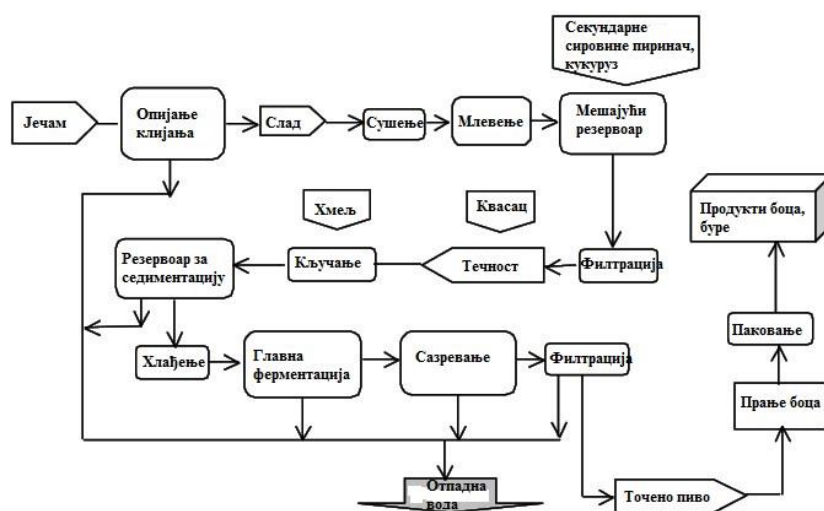
- Природним процеђивањем и сушењем (испаривањем) на пољима за сушење муља;
- вакумским филтерима (слика 50) или филтерима под притиском;
- центрифугирањем на центрифугама за муљ.



Слика 50. Вакуумски филтер [36]

5. Приказ решења у свету и код нас

У процесу пива слад, пиринач и кукурузни скроб се користе као додатне сировине у резервоару за размножавање и сахаризацију. Течност слада, која се дозира хмељем, филтрира се. Филтрат након топлотне обраде у кључалом котлу, хлади се до 7 - 10°C, затим се додаје квасац, ферментација траје од 7 до 10 дана пре него што настане крајњи производ. Квалитет и запремина отпадних вода варирају у зависности од процеса производње пива и зависе од тога, да ли постоји процес производње слада, јер неке пиваре данас користе произведену масу сушеног слада у фабрикама. На слици 51 приказане су све производне линије и тачке испуштања отпадних вода. Велике количине отпадних вода које садрже високи БПК₅ и SS се испуштају из фазе филтрираних остатака из вијчаних преса, после резервоара за размножавање, а остаци се одводе. Отпадне воде са високим БПК₅ и SS излазе из резервоара за одвајање хмеља такође. Након ферментације у главном резервоару, квасац се одваја, опере и поново користи. Ови процеси, који троше воде за прање и испирање, представљају главни извор отпадних вода. У завршном поступку филтрације, остатак квасца, нерастворљиви протеини, танини и остали предмети се уклањају из пива. Диатомит, који се користи у процесу, испира се у води за прање филтриране опреме, одвојене на улазу у постројење за пречишћавање отпадних вода, и уклања се као чврсти отпад. Стерилизација топлотом се не примењује за израду производње пива. Због тога се велика количина отпадних вода ствара од опреме за прање филтера, јер је веома битна за микробиолошку контролу производа. Последња фаза производње је флаширање. Коришћене бочице и бачве се испирају алкалним и киселим детерџентима, а остатак пива и етикете одлазе у отпадну воду. Стандардна запремина отпадних вода је углавном око 10-20 пута виша од произведеног пива [37].



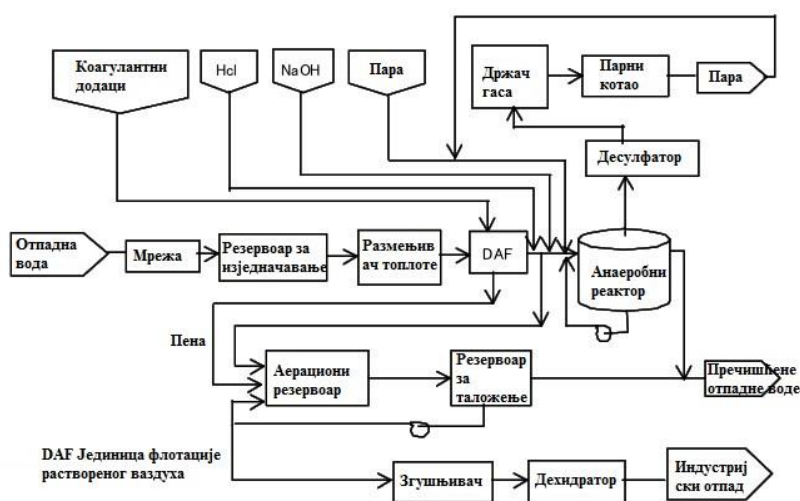
Слика 51. Производне линије и тачке испуштања отпадних вода [37]

5.1 Пример третмана отпадних вода у пивари у Јапану

Основне карактеристике једног постројења за третман отпадних вода у пивари у Јапану су:

- Запремина отпадних вода $7000 \text{ m}^3/\text{d}$ (врење= $5400 \text{ m}^3/\text{d}$, кључање= $1600 \text{ m}^3/\text{d}$)
- квалитет отпадних вода БПК₅ 1500 mg/l (врење= 1700 mg/l , кључање= 300 mg/l), SS 65 mg/l (врење= 800 mg/l , кључање= $150 - 300 \text{ mg/l}$)
- пречишћене отпадне воде БПК₅ $<20 \text{ mg/l}$ (анаеробне отпадне воде $<200 \text{ mg/l}$, активни муљ из отпадних вода $<20 \text{ mg/l}$) SS $<20 \text{ mg/l}$ (анаеробне отпадне воде $<200 \text{ mg/l}$, активни муљ из отпадних вода $<20 \text{ mg/l}$)

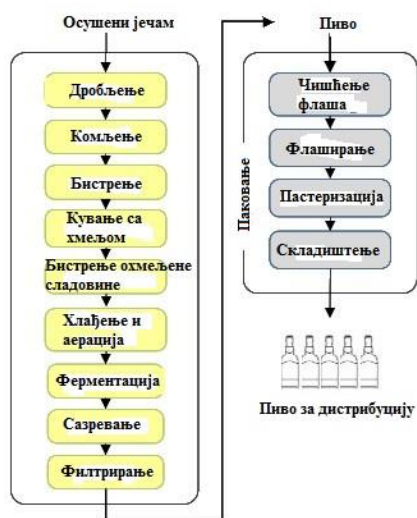
Јапанска фабрика је претходно третирали отпадну воду са активним муљем и када се проширила производња након прегледа перформанси, додат је процес анаеробног третмана како би се носио са повећаном производњом и како би се смањили трошкови третмана отпадних вода. Слика 52 приказује шематски дијаграм тока третмана отпадних вода. У комори за проветравање се уклањају плутајуће чврсте материје из отпадних вода од $7.000 \text{ m}^3/\text{d}$, мешавине отпадних вода из процеса пива, флаширања и конзервирања, а отпадне воде прелазе у резервоар за изједначавање. Овај систем је подељен на два дела. Први део је капацитета од $6.400 \text{ m}^3/\text{d}$ за новоизграђено анаеробно постројење за третман и други део од $600 \text{ m}^3/\text{d}$ за стари активни муљни погон. Отпадне воде за анаеробно пречишћавање уклањају SS са јединицом за флоатацију раствореног ваздуха (DAF), неутрализовано натријум хидроксидом или хлороводоничном киселином, а затим се напаја у анаеробни реактор за третман где се унутрашња температура одржава на 36°C парним грејањем. Гас метан који се генерише у реактору за анаеробни третман је десулфуриран, складиштен у држачу гаса и користи се за загревање котла. Пена, одвојена од стране DAF, враћа се у резервоар аерације да би смањио запремину $600 \text{ m}^3/\text{d}$ отпадних вода за аеробни третман, улива се у резервоар за аерацију, муљ се уклања из резервоара за одлагање, помешано са пречишћеном отпадном водом из анаеробног процеса, а затим се испушта у канализацију. Прекомерни муљ из процеса је згуснут у згушњивачу, дехидриран, а затим извучен као индустријски отпад [37].



Слика 52. Шематски ток третмана отпадних вода из пивница [37]

5.2. Принцип рада постројења у Немачкој

На слици 53 приказан је ток процеса у пивари за осушени јечам. Осушени јечам подлеже мешању због екстракције растворљивих супстанци. Затим осушени јечам се гњечи у резервоарима за гњечење. Гњечење је процес конверзије млевеног жита и воде у екстракт погодан за раст квасца и стварање пива. Продукт процеса гњечења улази у резервоар за бистрење, где се одвија фаза бистрења. Затим се додаје вода смеси и привремено се чувају у посудама за издвајање смесе. Таква смеша се даље креће према казану за кључање. Кључање обезбеђује стерилност производа, и на такав начин се спречава појава инфекција. Током кључања додаје се и хмељ или хмељни екстракти који ослобађају горке супстанце које се растварају у пиву. После кључања, груба коагулисана материја је раздвојена од материје у вртложном сепарационом суду. Материја која напушта вртложни суд, хлади се од 95°C до приближно 9 и 10°C. Следећи корак је процес ферментације који траје између 3 - 6 дана. Ферментација је процес током којег квасац користи шећерне материје и претвара их у етанол и угљен - диоксид. Током процеса ферментације одстрањени су квасац, угљен - диоксид и троп (материја). На крају ферментације добија се као производ зелено пиво (незрело пиво). Такво пиво одлази у посуде за сазревање. Сазревање може трајати до четири недеље и обухвата центрифугално одвајање, хлађење и карбонизацију. За сам крај пиво се филтрира. Филтрирање пива стабилизује укус и даје пиву сјај. Коначно пиво је упаковано. Готово пиво је флаширано, конзервирано или напуњено у бурад. Флаширана и конзервирана пива се пастеризују, како би се зауставио раст квасца који би могао остати у пиву након паковања [39].

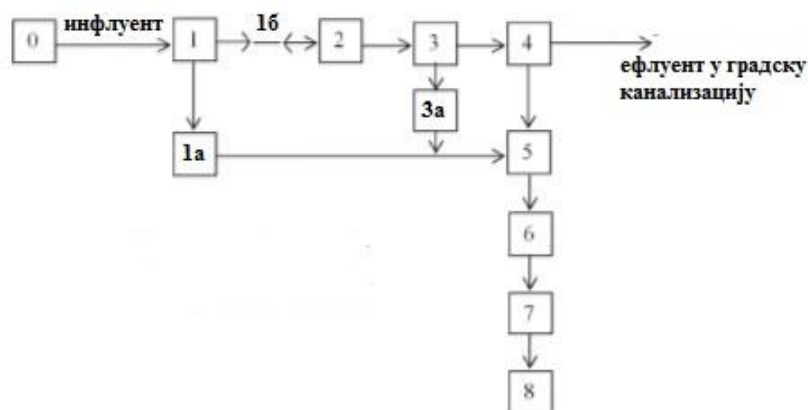


Слика 53. Ток процеса у пивари за осушени јечам [39]

5.3. Пример постројења за третман отпадних вода у АД Пивари – Ниш

Отпадне воде настале прањем боца садрже мале концентрације органског загађења (20°C BPK_5 од 200 до 400 mg/l). Концентрације којима се перу резервоари за ферментацију и филтри достижу 20°C BPK_5 3000 mg/l, а у водама којима се перу цистерне за чување пива чак и 16000 mg/l. Такође, висока потрошња алкалија, 0,8 kg 50% NaOH на један хектолитар пива, чини отпадне воде од прања боца агресивним. Просечна органска оптерећења изражена преко параметара 20°C BPK_5 и НРК, као и концентрације амонијака и суспендованих материја су такве да се ови ефлуенти (пречишћене отпадне воде) не смеју директно испуштати без пречишћавања у реципијенте. Присутност угљених хидрата и протеина у пивари чини ове воде погодним за биохемијско пречишћавање аеробног и анаеробног типа [38].

На слици 54 приказана је технолошка шема за предтретман отпадних вода из индустрије за производњу пива, када је њихов пријемник градска канализација [38].



Слика 54. Технолошка шема за предтретман отпадних вода из индустрије за производњу пива, када је њихов пријемник градска канализација [38]

Линија воде:

0 технолошки процес за производњу пива;

Инфлуент - непречишћене збирне отпадне воде из технолошког процеса за производњу пива;

1 фина решетка (сито) за уклањање сировине из технолошког процеса и заштиту опреме на постројењу (мерач протока, пумпе итд.);

1a контејнер за материјал уклоњен ситом који се прерађује на линији муља;

16 мерач протока;

2 егализациони базен за уједначавање квалитативно - квантитативних карактеристика збирних отпадних вода; егализациони базен садржи опрему за мешање,

3 реактор за интензивно физичко - хемијско пречишћавање у коме се врши флотација ваздухом уз укупњавање честица коагулацијом ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) и флокулацијом (PAA);

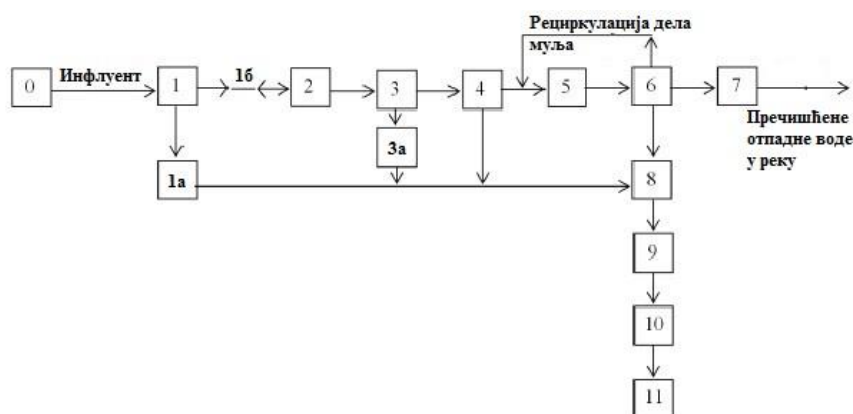
4 примарни цилиндрично - конични таложник израђен од челичног лима и ефлуент - пречишћене збирне отпадне воде из технолошког процеса производње пива, које се упуштају у градску канализацију.

5 згушњивач муља;

7 стабилизација муља кречом ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) и

8 одлагање стабилизованог муља на депонију.

Непречишћене отпадне воде (инфлуент) се најпре процеђују кроз fine решетке за уклањање крупнијег грубо диспергованог и делом суспендованог материјала. Уклањањем крупнијих честица, које би могле да оштете мерач протока, отпадне воде се уводе у егализациони базен где се врши уједначавање протока и састава. Након тога се отпадне воде уводе у реактор за интензивно физичко - хемијско пречишћавање, где се поред уклањања 20°C ВРК₅, НРК и суспендованих материја врши смањење рН вредности отпадне воде због киселе хидролизе алуминијум - сулфата. Муљ из примарног таложника, затим материјал одвојен на финим решеткама, као и флотирани материјал иду на згушњавање, хемијско кондиционирање и стабилизацију кречом (линија муља). На слици 55 приказана је технолошка шема постројења за потпуно пречишћавање збирних отпадних вода из индустрије за производњу пива, када су пријемници реке II класе [38].



Слика 55. Технолошка шема постројења за потпуно пречишћавање збирних отпадних вода из индустрије за производњу пива, када су пријемници реке II класе [38]

Линија воде:

0 технолошки процес за производњу пива;

Инфлуент - непречишћене збирне отпадне воде из технолошког процеса производње пива

1 фина решетка (сито) за уклањање сировине из технолошког процеса и заштиту опреме на постројењу (мерач протока, пумпе итд.);

1a контејнер за материјал уклоњен ситом који се прерађује на линији муља;

16 мерач протока;

2 егализациони базен за уједначавање квалитативно - квантитативних карактеристика збирних отпадних вода, егализациони базен садржи опрему за мешање, односно удубљавање довољне количине ваздуха, да не би дошло до таложења суспендованих материја и анаеробних процеса;

3 реактор за интензивно физичко - хемијско пречишћавање у коме се врши флотација ваздухом уз укрупњавање честица коагулацијом ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) и флокулацијом (РАА);

3a контејнер за флотирани материјал који се прерађује на линији муља;

4 примарни цилиндрично - конични таложник израђен од челичног лима; муљ из таложника иде на прераду на линији муља;

5 биоаерациони базен са активним муљем (продужена аерација, при чему долази и до процеса нитрификације);

6 секундарни таложник из кога се део муља рециркулише у биоаерациони базен, а вишак муља иде на прераду на линији муља;

7 базен за хлорисање и ефлуент - пречишћене збирне отпадне воде из технолошког процеса производње пива, које се упуштају у реке са већим еколошким захтевима.

Линија муља:

8 згушњивач муља;

9 дигестор муља (анаеробно труљење и добијање биогаса као корисног производа);

10 поља за сушење стабилизованог муља и

11 диспозиција муља (коришћење стабилизованог муља у пољопривреди).

Потпуно пречишћавање отпадних вода пиваре подразумева и секундарни третман у базену са активним муљем са малом оптерећеношћу масе (продужена аерација). Уз успешан предтретман ефекат биохемијског пречишћавања је 95% по основу 20°C ВРК_5 . Вода се потом хлорише, због постојања бактерија и различитих микроорганизама [38].

С обзиром да постоји муљ из секундарног таложника то захтева потпуну стабилизацију овог муља са примарним муљем, флотираним материјалом и крупнијим честицама које су одвојене на ситима. Прерада има за последицу добијање биогаза који представља еколошко гориво. Након потпуног третмана ефлуент се несметано може упуштати у природне реципијенте са већим еколошким захтевима (реке II класе) [38].

5.4 Пример постројења за третман отпадних вода у Јагодинској пивари

Технологија третмана на постројењу Јагодинске пиваре садржи фазе механичког и физичко - хемијског пречишћавања, чиме се гарантује квалитет пречишћене воде до нивоа за упуштање у јавну градску канализацију, као и потпуна заштита животне средине од свих нуспродуката процеса пречишћавања (чврста отпадна материја, муљ, флотат, гасови са непријатним мирисима) [39].

Процес пречишћавања на постројењу укључује следеће поступке:

Третман на линији воде [39]

- Довођење отпадне воде у пријемни шахт са црпном станицом;
- препумпавање отпадне воде на ротационо сито;
- уклањање чврстих отпадака на аутоматском ротационом сити;
- уједначавање количина и квалитета отпадне воде у базену за егализацију;
- пумпање отпадне воде из базена за егализацију на цевни флокулатор, уз дозирање хемикалија за коагулацију (ферихлорид) и корекција рН (натријумхидроксид);
- третман воде на комбинованом интегрисаном уређају за флотацију и талочење (DAF);
- континуално мерење квалитета пречишћене воде (рН и мутноћа) у мерном шахту;
- мешање пречишћене технолошке отпадне воде са санитарно - фекалном отпадном водом у постојећем шахту пумпне станице;
- препумпавање отпадне воде уз континуално мерење протока.

Пречишћена вода се потискује у јавну градску канализацију.

Третман на линији отпадних материја и муља [39]

- Компримовање издвојеног отпада на ротационом ситу, паковање у вреће и одлагање у пријемни контејнер;
- одвожење контејнера и збрињавање отпада у складу са прописима из области управљања отпадом;
- испуштање флотата и муља из DAF уређаја у гравитациони таложник;
- таложење и угушћивање флотата и муља у таложнику уз повремено дозирање полиелектролита;
- транспорт угушћеног муља и флотата у цевни мешач (in - line mixer);
- кондиционирање угушћеног муља и флотата полиелектролитом у цевном мешачу;
- флокулација муља у резервоару са мешалицом (пре уласка на центрифугу);
- дехидратација муља на центрифуги и одлагање муљног колача у прихватни контејнер;
- транспорт контејнера са муљним колачем и збрињавање у складу са прописима из области управљања отпадом;
- испуштање преливних, надмуљних и процедурних вода у прихватни муљни шахт и рецикулација у базену за егализацију.

Обезбеђење флуида (сервисна вода, погонски ваздух) и хемикалија [39]

За одвијање технолошког процеса потребно је да се на постројењу за пречишћавање омогући несметано коришћење сервисне воде, хемикалија и непрекидно напајање електричном енергијом.

Сервисна (процесна) вода обезбеђује се са унутрашњег прикључка из погона пиваре, а иста узима воду из сопствених бунара.

Погонски ваздух се користи за потребе функционисања DAF уређаја. Компресор узима амбијентни ваздух и користи га у процесу без претходне припреме. Компресор са резервоарем за ваздух и пратећом опремом испоручује се независно од DAF уређаја.

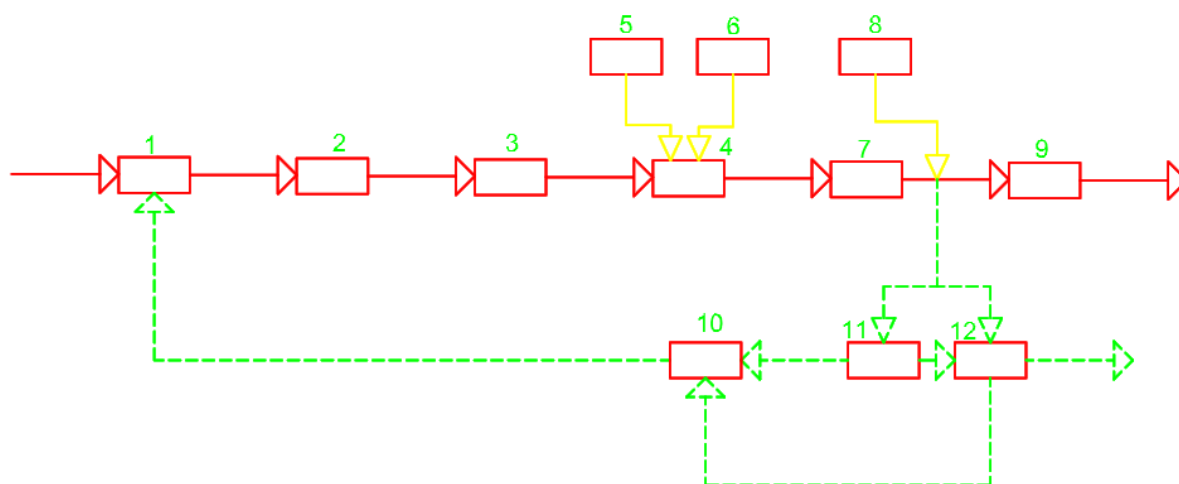
На линији третмана воде предвиђено је коришћење следећих хемикалија:

- Фери хлорид - за коагулацију и
- натријум хидроксид - за корекцију (подизање вредности) рН.

На линији муља предвиђено је коришћење полиелектролита. Полиелектролит се користи за побољшање ефеката таложења муља и флотата у таложнику и за кондиционирање муља у циљу побољшања ефеката дехидратације на центрифуги.

Саставне компоненте овог постројења (слика 56) као и супстанце које се додају отпадној води приликом пречишћавања су [39]:

1. Пријемни шахт са црпном станицом;
2. аутоматско ротационо сито;
3. базен за егализацију са црпном станицом;
4. цевни флокулатор;
5. фери хлорид;
6. натријум хидроксид;
7. DAF уређај;
8. катјонски полиелектролит;
9. црпна станица пречишћене воде;
10. дренажни муљни шахт;
11. таложник за муљ и флотат;
12. центрифуга.



Слика 56. Технолошка шема за потпуно пречишћавање отпадних вода из Јагодинске пиваре

6.0 Предлог решења за третман отпадних вода у индустрији пива

Производња пива је процес који троши воду, пошто је вода најважнија сировина која користи пиварски сектор. Пиво се састоји од око 92% воде, док је преосталих 8% етанола и екстракта из сировина. Пивна индустрија снабдева воду из приватних бунара (подземних вода), површинских вода, или из комуналног водовода. За припрему у Европи 2010. године, већина воде произашла је из бунара (54%) и комуналне воде (42%), а само 4% из површинских вода. Базирано на пивницама у Европи специфична потрошња воде варира од 2,5 до 6,4 hl/hl са у просеку од 4,2 hl/hl у 2010. Потрошња воде варира у зависности од врсте пива, боје брендова пива, величине пива, постојања прања бочице, како се пиво пакује и пастеризује, старост инсталације, систем који се користи за чишћење и тип опреме који се користи. На основу истраживања која је спроведена у пивари за производњу слада пиварског јечма 58% воде потрошено је током производње пива, а остатак 42% за паковање. На основу истог истраживања, биланс масене воде је приказан на слици 57 [40].



Слика 57. Масени биланс воде за осушени јечам у пивници [40]

Као што је већ приказано, индустрија пива бележи високу производњу отпадних вода, јер готово 70% искоришћене воде завршава као отпадна вода. На основу података Европских пивара у 2010. години, за сваки литар пива произведено је просечно 2,7 литара отпадних вода, што је смањење од 5,9% у односу на 2008. годину. Органско оптерећење отпадних вода је углавном лако биоразградиво и углавном се састоји од шећера, растворљивих скробова, етанола, масних киселина итд., док су тешки метали нормално присутни у веома ниским концентрацијама. Табела 13 илуструје неке од најважнијих параметара [39].

Табела 13. Еколошки параметри отпадних вода из индустрије пива [40]

Параметри	Вредности
HPK (mg/L)	2000-6000
BPK (mg/L)	1200-3600
TSS (mg/L)	200-1000
pH	4,5-12
Азот (mg/L)	25-80
Фосфор (mg/L)	10-50

Пиваре третман својих отпадних вода могу решавати на више начина. Једна варијанта је да условно чисте воде као што су атмосферске и технолошко - расхладне воде се испуштају у природни реципијент. Такође санитарно - фекалне отпадне воде могу се прикључити на градску фекалну канализацију. Што се тиче самих технолошких отпадних вода они се предтретманом могу довести на квалитет прописан одлуком о санитарно – техничким условима за испуштање отпадних вода у градски колектор.

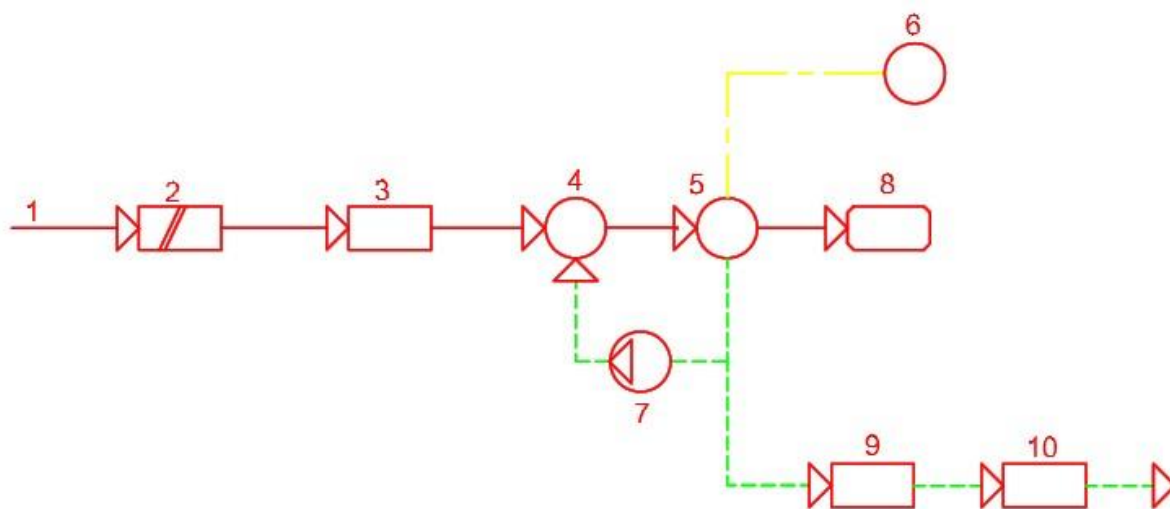
Други приступ је да пивара има своје постројење за третман својих отпадних вода.

Пошто је оптерећење загађења углавном органско, најчешће се примењују биолошки аеробни / анаеробни процеси. Уобичајено је да се у пиварама користи више од једног типа третмана отпадних вода. Иако се могу применити неколико врста анаеробних реактора, најчешће коришћене технике су UASB комбиновани са секвенцијалним шаржним реакторима (SBR). Друге занимљиве примене везане за аеробни третман су реактори са флуидизираним слојем и мембрански биореактори (MBR). Удружење немачких пивара подстиче поступање са отпадним водама анаеробним процесом дигестије, пошто је отпадна вода у пивари најприкладнија за анаеробни третман. Базирано на анаеробној дигестији створено је више од 23,6 милиона m^3 биогаса годишње у Европи (2010), што показује пораст од 7% у периоду од 2008 - 2010 године [40].

Предлог техничког решења (слика 58) заснива се на високом степену анаеробног пречишћавања отпадних вода и добијања метанског гаса који би се касније трансформисао у произведену електричну енергију која би се дистрибуирала електричној мрежи. Такође систем поседује решетке које спречавају продор крупнијих материја из отпадних вода, егализациони базен у којем се налази вертикалан мешач, који је покренут од стране електромотора. На такав начин се вештачким путем ствара аерација у базену, при чему се изједначава доток и састав отпадних вода контролишући њену рН вредност у њеним границама за пиваре. Између осталог овај систем поседује примарни таложник за седиментацију који служи да издвоји један део муља из отпадних вода и код UASB реактора постоји рециркулациони вод у којем се налази муљна пумпа која рециркулише муљ поново до таложника смањујући оптерећење UASB реактора. Пречишћене отпадне воде испуштају се у природни реципијент док муљ пролази кроз фазу дехидрације и извлачења путем декантера. Овај систем је поуздан и јефтин јер у самом постројењу се не налази варијанта терцијалног третмана отпадних вода која би утицала на рентабилност пројекта.

Предлог техничког решења би се састојао од следећих компоненти:

1. Непречишћена отпадна вода спроводи се путем цевне мреже;
2. грубе / fine решетке;
3. егализациони базен;
4. примарни правоугаони таложник;
5. UASB реактор;
6. резервоар за сакупљање метанског гаса;
7. рецикулација муља уз помоћ муљне пумпе;
8. реципијент (река, језеро, лагуна).
9. дехидрација муља
10. извлачење муља из мреже.



Слика 58. Технолошка шема постројења за третман отпадних вода у пивари

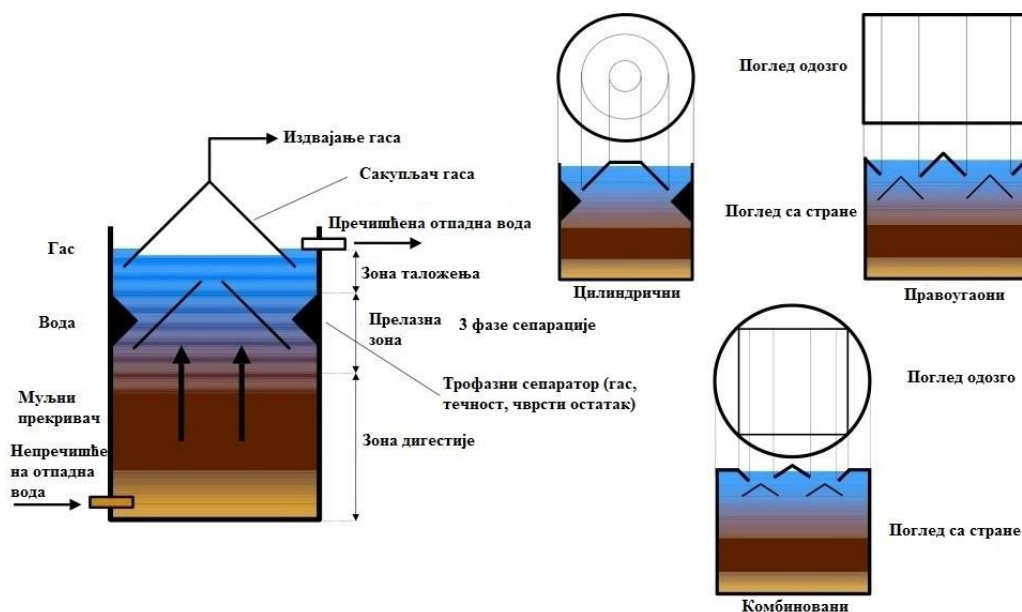
6.1 UASB реактори

Анаеробна дигестија се најчешће употребљава као процес третмана код јако оптерећених отпадних вода. Процес се темељи на конверзији органских једињења у CO_2 и метан – биогаз, помоћу микроорганизама у условима без кисеоника и уз повишену температуру. Реактор са лебдећим муљем (Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor – UASB reactor) представља комору за анаеробну реакцију отпадне воде са муљем који се налази у форми покривке. У UASB реактору отпадна вода има вертикалан ток струјања, са дна реактора, ка врху, на ком се налази трофазни сепаратор, један од кључних компонената, који раздваја генерисани биогаз, отпадну воду и суспендоване честице [41].

UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket дигестор, најзаступљенији у савременој индустријској пракси је тзв. дигестор са слојем муља, накупљеног у доњој зони дигестора, у облику пелета или гранула, са узлазним током отпадне воде кроз слој муља. Висока концентрација биомасе постиже се сепаратором уграђеном на врху дигестора, којим се раздваја биогаз, пречишћена отпадна вода, и муљ који се враћа, седиментира ка муљној покривци у доњем делу реактора. Показало се да UASB може

да обрађује отпадне воде у доста широком интервалу концентрације органског загађења (НРК, ВРК, ТОС) од средње, па и слабо загађених, све до отпадних вода и отпадних токова са веома великим органским садржајем, као што су џибре и сурутке. UASB дигестор добро подноси размерно велика хидрауличка оптерећења, због тога што је муљ пелетиран, са dobrим таложним карактеристикама. UASB реактор (слика 59) може бити цилиндричног, правоугаоног или комбинованог типа [41].

Што се тиче саме конструкције, израђени су од бетона, или другог водонепропусног материјала и могу се пројектовати кружним или правоугаоним начином. Отпадне воде се пумпају са дна у реактор, где утицај суспендованих чврстих материја и пораста бактеријских активности доводи до стварања муља. Прекривач муља се састоји од микробиолошких гранула (пречника од 1 до 3 mm), тј. малих нагомилавања микроорганизама који се због своје тежине опиру испирању узводно. Микроорганизми у слоју муља деградирају органска једињења. Као резултат, гасови (метан и угљендиоксид тј. биогас) се ослобађају. Растући мехурићи мешају муљ без помоћи механичких делова. Узводна брзина и обрачуната брзина муља су у равнотежи што доводи до формирања муљног прекривача. Нагнута зидови одбијају материјал који достиже горњи део резервоара надоле. Пречишћена отпадна вода се издваја са врха резервоара у подручју изнад нагнутих зидова. Сепаратор гаса и течних честица (GLSS) одваја гас из пречишћене отпадне воде и муља [41].



Слика 59. UASB реактор [42]

Предности ових система су [42]:

- Високо умањење ВРК;
- може издржати висока органска и хидраулична оптерећења;
- мала производња муља (и стога незаобилазно одлагање);
- биогас се може користити за енергију (али обично прво захтева чишћење);
- није потребан систем аерације (због тога је мала потрошња енергије);
- пречишћена отпадна вода је богата хранљивим материјама и може се користити за наводњавање у пољопривреди;

- мали захтеви за земљиштем, може се изградити под земљом и са локално доступним материјалом;
- смањење емисије CH_4 и CO_2 .

Мане су [42]:

- Третман може бити нестабилан са променљивим хидрауличним и органским оптерећењима;
- захтева рад и одржавање од стране квалификованог особља;
- дуго време пуштања у рад са пуним капацитетом;
- потребан је сталан извор електричне енергије;
- нису сви делови и материјали доступни локално;
- захтева експертски дизајн и конструкцију;
- отпад и муљ захтевају додатни третман и / или одговарајуће пражњење;
- није прилагођен хладним регионима.

Годишњи операциони трошкови и трошкови одржавања представљају мање од 1% капиталних трошкова UASB реактора. Исто тако трошкови изградње UASB реактора се крећу од 20 до 40 USD, док се ови трошкови за конвенционално постројење са активним муљем крећу од 60 до 120 USD, док су операциони и трошкови одржавања за 30% мањи од реактора са активним муљем [41].

Струјање отпадне воде кроз реактор је вертикално, за разлику од других јединица за третирање воде. Ово побољшава контакт између муља акумулираног анаеробном реакцијом и непречишћеном отпадном водом, што побољшава отклањање суспендованих честица, које се лепе за муљни слој и распадају анаеробно [41].

За добар учинак UASB система је кључно [41]:

- а) да омогући добар контакт између долазећег супстрата и муљног покривача у систему;
- б) да одржава велику муљну масу у систему.

Како би одржао ове услове, систем је опремљен трофазним сепаратором, за одвајање чврсте, течне и гасовите фазе и системом за одвођење пречишћене отпадне воде. Сепаратор помаже ефикасност процеса дељењем реактора на три зоне [41]:

- Зону дигестије (доњи део);
- прелазна зона и;
- зона мировања (горњи део).

Отпадна вода се доводи у доњи део реактора, и пролази кроз муљни слој (зону дигестије), затим улази у прелазну зону и завршава у зони мировања. Величина реактора смањује брзину струјања, и омогућава флокулацију суспендованог муља и његово таложење. Маса акумулираног муља на косинама сепаратора постепено превазилази вредност силе трења и клизи, падајући натраг у зону дигестије, постајући суплемент за органско разлагање долазеће отпадне воде [41].

Трофазни сепаратор (гаса, чврстих честица, течности) при врху реактора омогућава ефективну сепарацију биогаса произведеног у реактору и враћа распршен муљ натраг у муљни слој. Кретање гасних продуката дешава се на горе кроз реактор, пружајући довољну турбуленцију за одржавање реактора у флуидизованом стању. Трофазни сепаратор представља врло важну компоненту у систему [41].

Трофазни сепаратор омогућава [41]:

- Хватање и сакупљање генерисаног биогаса;
- побољшање процеса таложења честица у зони реакције изнад сепаратора (задржава бактерије потребне за процес);
- минимизује појаву чврстих честица у пречишћеној отпадној води;
- креира додатан простор изнад сепаратора за компензацију приликом великих хидрауличких оптерећења (експанзија муљне покривке).

Уколико трофазни сепаратор не функционише исправно, могуће је изливање биогаса који у додиру са муљном покривком смањује ефикасност таложења и скидање муља [40].

6.3 Прорачун постројења за третман отпадних вода у пивари

Приликом самог прорачуна узети су полазни просечни параметри отпадних вода (табела 14) из пивара са варијантом да пивара има сопствени систем за пречишћавање отпадних вода и издвајање гаса из њега.

Табела 14. Полазни параметри отпадних вода из пиваре за прорачун

Полазни параметри отпадних вода из пиваре за прорачун		
Укупна количина свеже воде	Q_{dnevno}	$318 \text{ m}^3/\text{dnevno}$
Алкалитет, киселост	pH	7
Хемијски потребна количина кисеоника	HPK	2480 mg/l
Биохемијска потрошња кисеоника	BPK	1393 mg/l
Укупне суспендоване чврсте материје	TSS	810 mg/l
Укупне растворене материје	TDS	2301 mg/l
Укупне испарљиве чврсте материје	VSS	400 mg/l

Прорачун грубе решетке:

Укупна количина свеже воде: $Q = 318.000 \frac{l}{dan}$

При прорачуну укупног протока отпадних вода усваја се да 80 % свеже воде заврши као отпадна вода.

$$Q_{o.v} = 0.8 \cdot 318.000 \frac{l}{dan} = 254.400 \frac{l}{dan}$$

При прорачуну максималног протока отпадних вода усваја се коефицијент неравномерности 2.7 због променљивог оптерећења процеса производње.

$$Q_{max} = 2.7 \cdot 254.400 \frac{l}{dan} = 686.880 \frac{l}{dan} = \frac{686.880 \frac{l}{dan}}{86400} = 7.95 \frac{l}{s} = 0.00795 m^3/s$$

Под претпоставком да брзина проласка отпадне воде кроз решетке не прелази 0,8 m/s укупна површина између отвора решетке би била:

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0.00795}{0.8} = 0.0099375 m^2$$

Користећи правоугаоне решетке које имају ширину 2 cm и постављене су у размаку од по 10 cm добијена је бруто површина решетки:

$$A_{ukup.} = \frac{(0.0099375 \cdot 3 \cdot 2)}{10} = 0.0059625 m^2$$

Подразумевајући да су решетке постављене под углом од 60° од хоризонтале добија се укупна површина решетки

$$A_{ukup} = 0.0059625 / \sin(60) = \frac{0.0059625}{0.866} = 0.0068 m^2$$

Фине решетке

Фине решетке се постављају након грубих решетки како би се спречио пролаз честица који би запушили решетку. Размак између финих решетки износи од 1 до 3 mm. Узимајући потребну површину решетке и њихов потребни размак усваја се димензија од 0.014 m² и размак од 1.2 mm.

Прорачун егализационог базена

Егализациони базен регулише проток воде, односно представља “базен” углавном правоугаоног облика из ког се дозира отпадна вода у таложник. Запремина базена омогућава прихватање 50 - 70 % дневне производње отпадних вода која се прерађује на уређају за пречишћавање.

Запремина егализационог базена рачуна се помоћу следеће формуле:

$$V_{et} = Q \cdot D_t$$

где је:

Q - количина отпадне воде која се пушта кроз базен

D_t - време задржавања воде (претпостављамо да је 10 часова)

$$V_{et} = (13.25 m^3/h) \cdot 10h \approx 132,5 m^3$$

Уколико претпоставимо да је висина резервоара $H = 3 \text{ m}$, можемо искористити однос $L : W = 2 : 3$, дакле $L = 2W / 3$

$$V_{et} = L \cdot W \cdot H$$
$$132,5 \text{ m}^3 = 2 W^2$$

$$L = 5.42 \text{ m}, \quad W = 8.13 \text{ m}, \quad H = 3 \text{ m}$$

Усваја се егализациони базен димензија **5.5 m x 8 m x 3 m**.

Прорачун правоугаоног таложника

Максимални проток отпадних вода је:

$$Q_{max} = 0.68688 \cdot 10^6 \text{ l/dan}$$

Што се тиче самог таложника, период задржавања муља је **2 сата**, као и време његовог самог третирања.

Запремина таложника је:

$$V_t = \frac{0.68688 \cdot 10^6}{24} \cdot 2 = 0.057 \cdot 10^6 \text{ l} = 57 \text{ m}^3$$

Под претпоставком да је брзина протицања кроз резервоар одржавана на $v = 0.2 \text{ m/min}$, може да се прорачуна потребна дужина резервоара:

$$L = \text{брзина протицања} \cdot \text{период задржавања} = v \cdot t = 0.2 \cdot (2 \cdot 60) = 24 \text{ m}$$

$$\text{Површина резервоара} = \frac{\text{капацитет резервоара}}{\text{дужина резервоара}} = A_{tal.} = \frac{57 \text{ m}^3}{24} = 2.375 \text{ m}^2$$

Претпоставићемо да је дубина воде у резервоару 2,5 m, па је ширина резервоара:

$$B = \frac{2.375}{2.5} = 0.95 \text{ m}$$

Усваја се ширина резервоара од 1 m.

Усваја се укупна дубина од 3 m.

Усвајањем претходних параметара добија се правоугаони таложник димензија 24 m x 1 m x 3 m.

Провера протока преливања

Преливни проток би требало да буде између 20.000 - 40.000 l / m² / dan

$$\frac{Q}{B \cdot L} = \frac{0.68688 \cdot 10^6}{(1 \cdot 24)} = 28620 \frac{\text{l}}{\text{m}^2} / \text{dan}$$

Затим се приступа модификовању резервоара како би се добила жељена брзина преливања.

Захтевана површина резервоара је:

$$A_{tal.} = \frac{0.68688 \cdot 10^6}{40000} = 17.17 \text{ m}^2$$

Ако се претпостави дужина од 10 m, ширина би била:

$$B = \frac{17.17}{10} = 1.71 \text{ m}$$

Прорачуном је обезбеђен таложни резервоар димензија **10 m x 2 m x 3 m**.

Прорачун UASB реактора

Постоје два начина прорачуна UASB реактора:

- Уколико је $\text{HPK} < 2.5 \text{ kg HPK} / \text{m}^3$, метод прорачуна би требало засновати на брзини протока, коришћењем формуле $V_r = \text{HRT} \cdot Q_r$;
- уколико је улазни $\text{HPK} > 2.5 \text{ kg HPK} / \text{m}^3$, метод прорачуна димензија би требало засновати на степену органског оптерећења (Organic Loading Rate - ORL), коришћењем формуле $V_r = (C \cdot Q_r) / r_v$.

HPK опсег нормалан за институционалне воде је 0.2 до 0.5 kg HPK / m³, а за комуналне воде 0.6 - 0.9 kg HPK / m³

HPK отпадне воде = 2.48 kg / m³; па обзиром да је $\text{HPK} < 2.5 \text{ kg} / \text{m}^3$, користи се $V_r = \text{HRT} \cdot Q_r$ где је:

- Q_r - количина отпадне воде која се пушта кроз реактор;
- HRT – хидраулично време задржавања;
- V_r - запремина реактора.

Ради израчунавања Q_r користи се формула $Q_r = Q_{ov} \cdot 80 \%$, где је Q_{ov} проток отпадне воде (28.62 m³/h).

$$Q_r = 28.62 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 80 \% = 22.89 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$V_r = \text{HRT} \cdot Q; \text{HRT} = 4 \text{ сата (стандард)}, Q = 22.89 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$V_r = 4 \cdot 22.89 = 91.56 \text{ m}^3 \approx 92 \text{ m}^3$$

Ради израчунавања висине резервоара користи се формула: $H = H_s + H_{se}$ где је:

H - висина резервоара,

H_s - висина муљне покривке (главни реактор),

H_{se} - висина подручја седиментације.

$H_s = v \cdot HRT$ где је v брзина струјања воде од 0.6 до 0.9 m^3/h . Усвојено је да буде 0.6 m^3/h .

$$H_s = 0.6 \cdot 4 = 2.4 m$$

За одређивање H_{se} , користи се следећа табела:

Табела 15. Одређивање висине подручја седиментације

Одређивање висине подручја седиментације (H_{se})	
Улазни НРК	Висина слојног муља
<3000 mg/l	3 - 5 m
>3000 mg/l	5 - 7 m

У овом случају користи се $H_{se} = 3 m$

$$H = 2.4 + 3 = 5.4 m$$

Ради прорачунавања димензија реактора правоугаоног облика, користи се однос $L : W = 2 : 1$ с обзиром на то да је $V_r = L \cdot W \cdot H$; $L = 2 W$

$$92 m^3 = (5.4 m) \cdot 2 W^2$$

$$L = 5.84 m \quad W = 2.92 m \quad H = 5.4 m$$

Усвајају се димензије реактора **6m x 3m x 5.4 m**.

Ради израчунавања створених неиспарљивих суспендованих честица при смањивању ВРК, мора се дефинисати следеће:

μ - смањивање биохемијске потрошње кисеоника = 80 %

ВРК отпадне воде = 1393 mg / l

Коефицијент приноса = 0.1

Сада се може употребити следећа једначина:

$$NVSS = \text{Коефицијент приноса} \cdot BPK \cdot \mu = 0.1 \cdot 1393 \cdot 0.8 = 111.44 mg/l$$

Претпоставља се да талог неиспарљивих суспендованих честица чини 30 % укупног талоба, на основу чега може да се прорачуна удео испарљивих суспендованих честица.

$$VSS \cdot (1 - 0.3) = 400 \cdot 0.7 = 280 \text{ mg/l}$$

Пепео при уливању једнак је разлици између укупно суспендованих честица и испарљивих честица:

$$(TSS - VSS) \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 810 - 400 = 210 \text{ mg/l}$$

Настали муљ, по метру кубном прерађене воде представља збир неиспарљивих и испарљивих суспендованих честица и насталог пепела:

$$NVSS + VSS + \text{пепео} = 111.44 + 400 + 210 = 721,4 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 0.721 \text{ kg/m}^3$$

Укупно произведен муљ се сада може израчунати:

$$\text{Проток воде} \cdot \text{Настали муљ} = 22.89 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \left(24 \cdot 0.721 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 396.09 \frac{\text{kg}}{\text{dan}} \approx 396 \frac{\text{kg}}{\text{dan}}$$

За израчунавање времена задржавања муља, користи се пропорција највише температуре, која одговара времену задржавања у трајању од 20 дана.

За израчунавање количине муља која би требало да се екстракује на свака 3 дана, користи се $H_{se} = 3\text{m}$, и израчунава се помоћу димензија реактора и висине седиментационе зоне.

$$V_{mulja} = L \cdot W \cdot H_{se} = 6 \cdot 3 \cdot 3 = 54 \text{ m}^3$$

Количина муља која сме да се извади из резервоара је од 30 до 50 %, а препоручљиво је екстраковати 30 %.

$$V_{odstranjeno} = 54 \text{ m}^3 \cdot 30 \% = 16.2 \text{ m}^3 \approx 16 \text{ m}^3$$

Запреминско органско оптерећење (енг. *volumetric organic loading* - ORL) представља оптимално просечно органско оптерећење једнако у целом реактору. Израчунава се односом НРК, протока воде и димензија реактора.

$$ORL = \frac{2.48 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 549.36 \frac{\text{m}^3}{\text{dan}}}{6 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} \cdot 5.4 \text{ m}} = 14 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \text{ dan}} \text{ НРК}$$

Требало би пратити одређене савете приликом дизајнирања трофазног сепаратора:

- Нагиб сепаратора (нагнути зид колектора гаса) би требало да буде под углом између 45 и 60°;
- Површина отвора између гасних колектора би требало да буде на 15 до 20 % укупне површине реактора;
- висина гасног колектора би требало да се креће између 1.5 и 2 m, када је висина реактора 5 - 7 m;
- како би се онемогућио пролазак гасних мехурова у простор за таложење, преклапање преграда постављених испод отвора би требало да буде око 10 - 20 cm;
- генерално преграде за одвод пене би требало да буду уграђене на местима испуштања пречишћене отпадне воде;
- пречник цеви за испуштање гаса би требало да је довољно велика да гарантује лако отклањање биогаза из колекционе капе, посебно у случајевима пењења;
- при врху гасне капе, добро је уградити млазницу са средством против пењења, у случајевима када се зна да ће третман отпадне воде пратити и обилно пењење.

Прорачун производње метана унутар UASB реактора

Максимална количина метана која се може произвести у UASB реактору процењује се множењем биохемијске потрошње кисеоника ВРК, са максималним капацитетом за производњу метана отпадне воде (B_o). Подразумевана вредност B_o за отпадне воде је 0.6 kg CH_4 / kg ВРК.

Потенцијал одређеног система за производњу кисеоника представљен је параметром фактор метанске конверзије (енг. *methane conversion factor* - MCF).

Једначина која се препоручује за прорачун производње метана приликом третмана отпадних вода је:

$$CH_4 = \sum_{i=mesec} [(TOW_i - S_i) \cdot B_o \cdot MCF] - R_i$$

где је:

CH_4 - месечна емисија метана из UASB реактора (kg / месец)

TOW_i – укупни органски разградиви материјал за дату индустрију (kg НРК / год.)

S_i – органска компонента уклоњена у облику муља (kg НРК / год.)

НРК - просечно месечно оптерећење органским материјама воде која улази у UASB систем (kg / m³)

B_o - максимални потенцијал за производњу кисеоника, за институционалне воде (подразумевана вредност од 0.6 kg CH_4 / kg ВРК или 0.25 CH_4 / kg НРК),

MCF - фактор метанске конверзије, осликава степен деградације органских материја у анаеробним условима,

R_i – износ CH_4 обрачунат у текућој години (kg НРК / год.)

Укупни органски разградиви материјал се рачуна као:

$$TOW_i = P_i \cdot W \cdot НРК$$

где су:

P_i – укупна производња за дати сектор индустрије (t / год.)

W – произведена количина отпадне воде по тони производа (m^3 / t)

$P = 15\,000\,t / год.$

$НРК = 2.48\,kg / m^3$,

$W = 6.3\,m^3 / t$,

$$TOW_i = 15\,000 \frac{t}{год} \cdot 6.3 \frac{m^3}{t} \cdot 2.48 \frac{kg}{m^3} = 234\,360 \frac{kg НРК}{год}.$$

$B_0 = 0.25\,kg\,CH_4 / kg\,НРК$

$MCF = 0.8$

Усвојено је да се 30% произведеног муља уклања, па је:

$$S_i = 0.3 \cdot 396 \frac{kg}{дан} \cdot 365 = 43\,362 \frac{kg НРК}{год}.$$

Усвојено је да је $R_i = 0$

$$CH_4 = \sum_{mesecc\,dana} \left[\left(234\,360 \frac{kg НРК}{год} - 43\,362 \frac{kg НРК}{год} \right) \cdot 0.25 \frac{kg\,CH_4}{kg НРК} \cdot 0.8 \right]$$

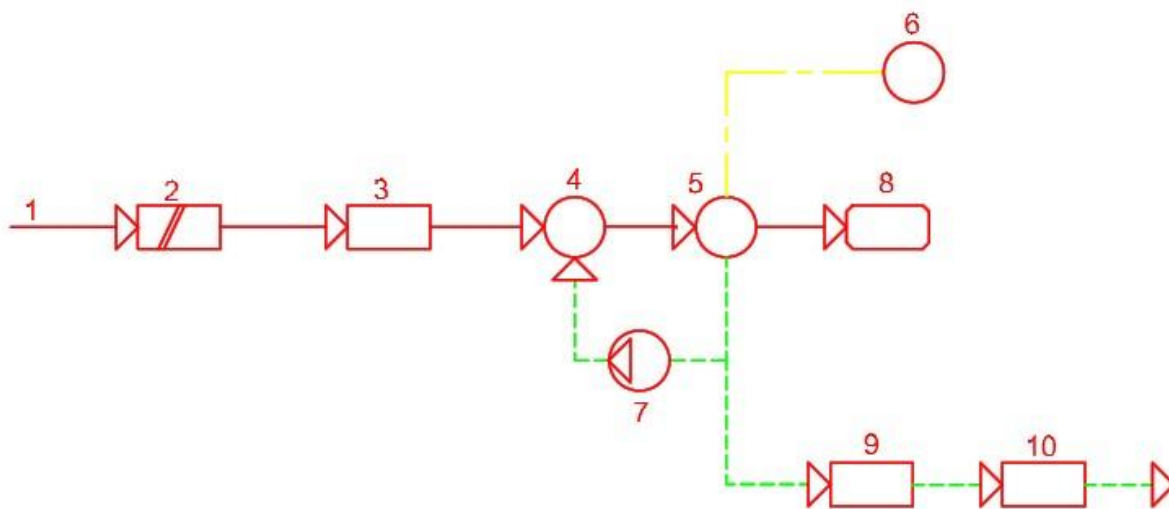
$$CH_4 \approx 38200 \frac{kg}{год}.$$

Ова количина метана може се претворити у енергију с обзиром да $1\,kg\,CH_4$ одговара око $55.5\,MJ/kg$ и $1\,kWh = 3.6\,MJ$, добија се:

$$38200 \frac{kg}{год} \cdot 55.5 = 2120100 \frac{MJ}{год} \approx 589 \frac{MWh}{год}.$$

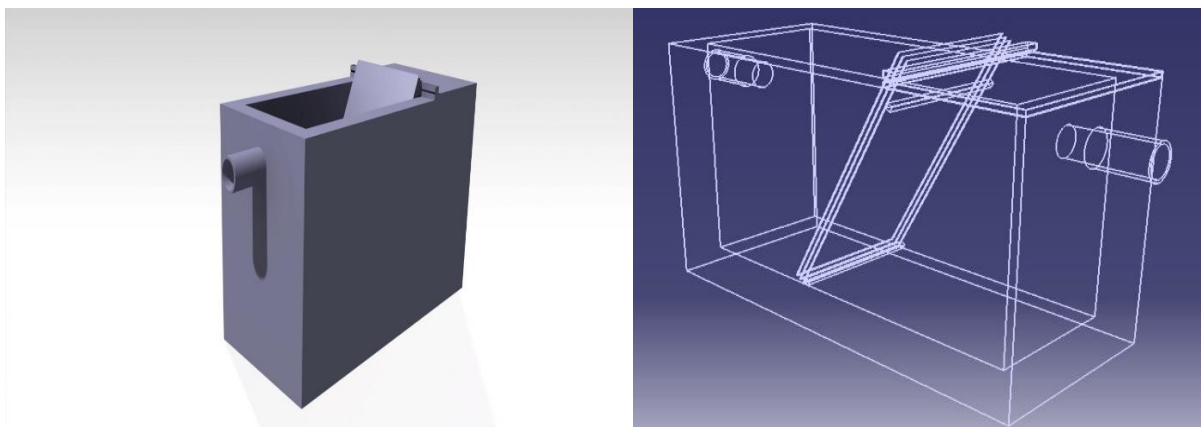
6.4 3Д модел постројења

У овом раду, на основу предложеног техничког решења (слика 60) и прорачуна саставних компонената постројења за третман отпадних вода у пивари, формиран је 3Д модел постројења у софтверском пакету „Dassault Systemes Catia”. Систем се састоји од основних компонената као што су: грубе решетке, егализациони базен, примарни правоугаони таложник, UASB реактор, резервоара за складиштење метанског гаса, активне рецикулације муља путем муљне пумпе, корита за складиштење муља и декантера за извлачење муља из цевоводне мреже. Цело постројење је осмишљено како би се на економичан и ефикасан начин, анаеробним путем уклониле штетне органске материје (супстанце) из отпадних вода, како би се унапредио процес биолошког третмана отпадних вода у индустрији пива.



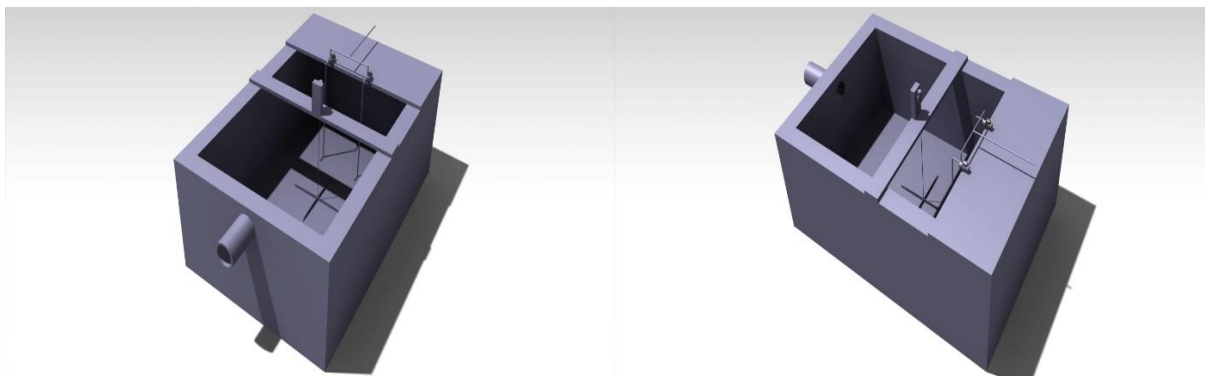
Слика 60. Предложено техничко решење постројења за третман отпадних вода у пивари

На слици 61 приказане су **грубе решетке** постављене у базену одговарајућих димензија на основу претходно спроведеног прорачуна. Основна функција грубих решетки је уклањање крупнијих, нерастворивих и пливајућих материја из отпадних вода. Грубе решетке такође имају и улогу да заштите уређаје и цевоводе од оштећења, загушења и да олакшају даљи третман отпадних вода.



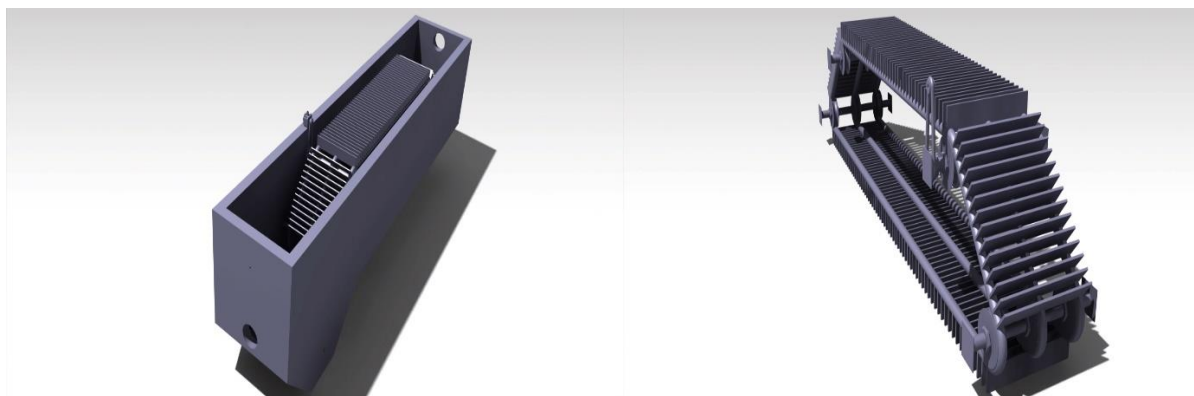
Слика 61. Грубе решетке

На слици 62 представљен је **егализациони базен** у коме се помоћу пумпи и вертикалног мешача, који је везан за електромотор врши уједначавање тока и састава отпадних вода при чему се врши контрола рН вредности.



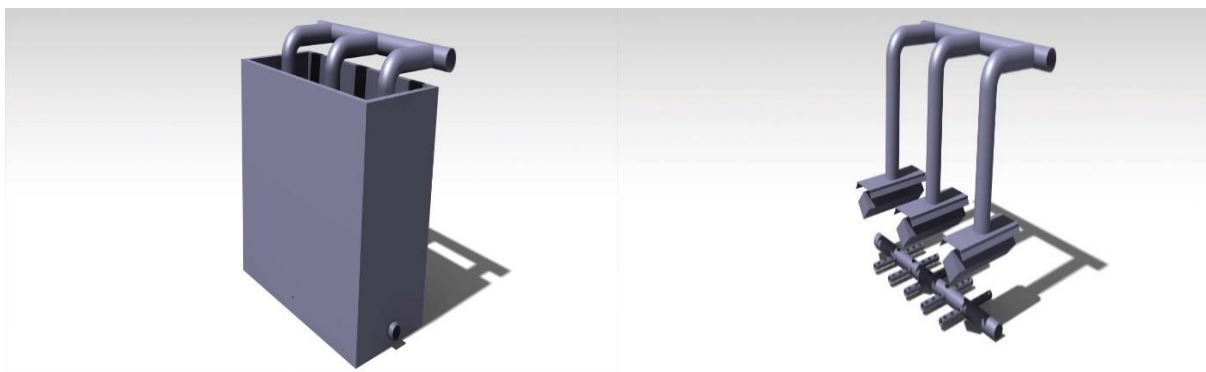
Слика 62. *Егализациони базен*

На слици 63 представљен је **примарни правоугаони таложник** чији је основни задатак таложење и уклањање муља, уз помоћ скимера који се покреће од стране мотора преко одговарајућег каишног преносника. Цео систем је осмишљен на такав начин да се уместо ланаца који су подложни корозионом дејству примене композитни материјали који би били отпорнији на висока органска оптерећења које отпадна вода носи са собом.



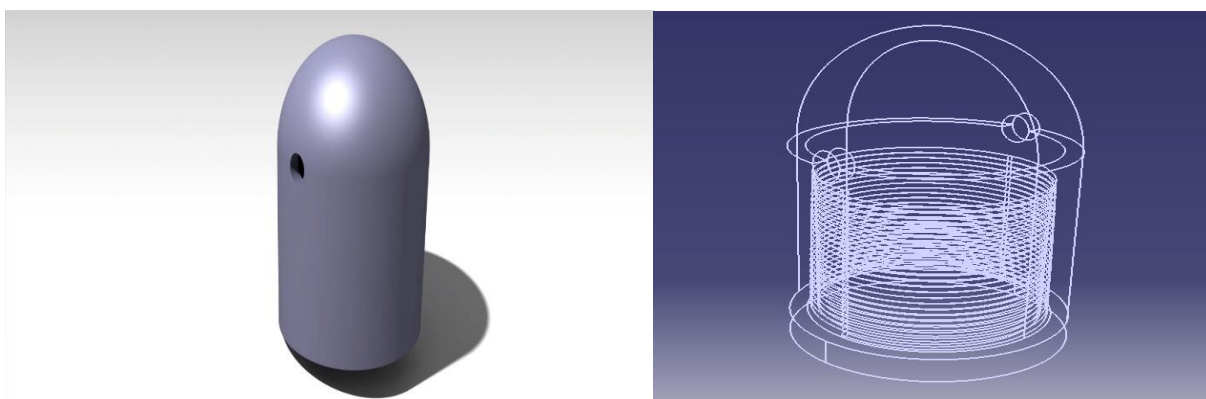
Слика 63. *Примарни правоугаони таложник*

На слици 64 представљен је **UASB реактор** који има улогу издвајања биогаза из отпадних вода. Једна од кључних компоненти у UASB реактору је и трофазни сепаратор, који раздваја генерисани биогаз, отпадну воду и суспендоване честице. Биогаз се скупља преко сакупљача гасова и одлаже путем цевовода у сабирну цев која је усмерена ка резервоару за смештање биогаза. Цео систем је осмишљен на такав начин како би се на економичан и ефикасан начин, анаеробним путем уклониле штетне органске материје (супстанце) из отпадних вода и како би се унапредио процес биолошког третмана отпадних вода у индустрији пива.



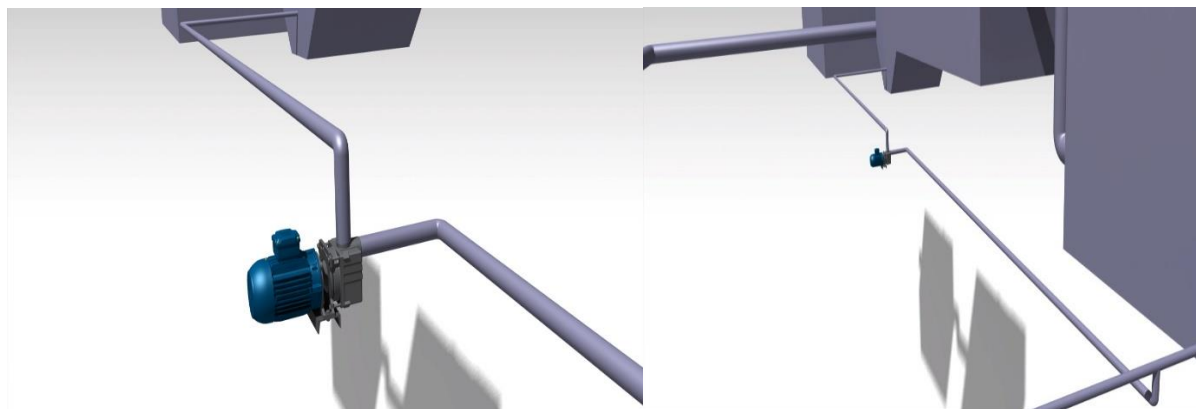
Слика 64. UASB реактор

На слици 65 приказан је **резервоар за смештање биогаса** са цевном изолацијом који има улогу складиштења биогаса, до његове даље употребе.



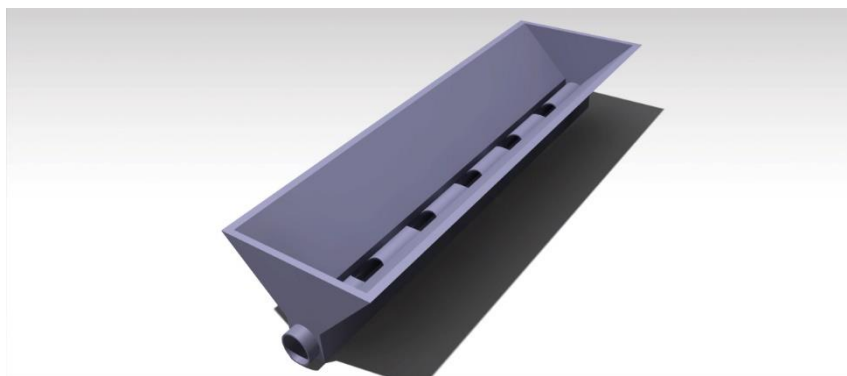
Слика 65. Резервоар за смештање биогаса са изолацијом

На слици 66 приказана је **активна рецикулација муља** која се одвија помоћу муљне пумпе и која има улогу у враћању вишка муља из UASB реактора до примарног правоугаоног таложника.



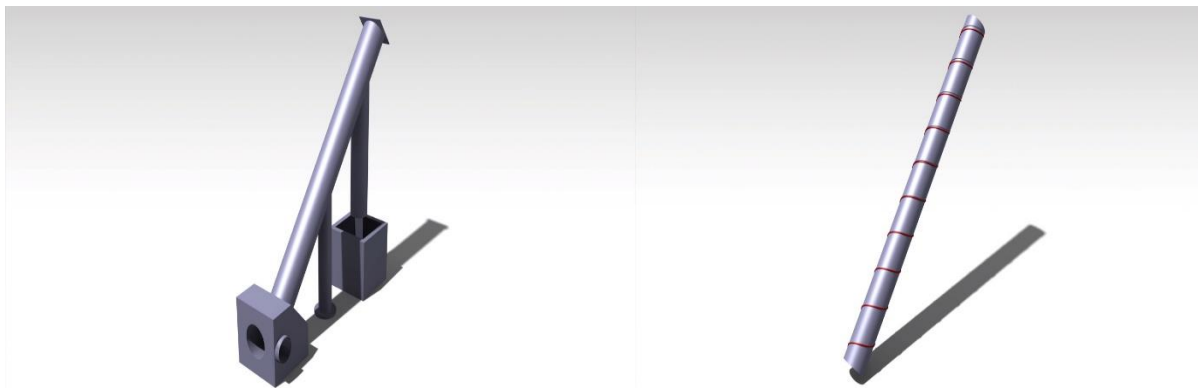
Слика 66. Рецикулација муља путем муљне пумпе

На слици 67 приказано је **корито за складиштење муља**, чија је основна улога да издвоји муљ од отпадне воде помоћу кроз отворе на дренажној цеви.



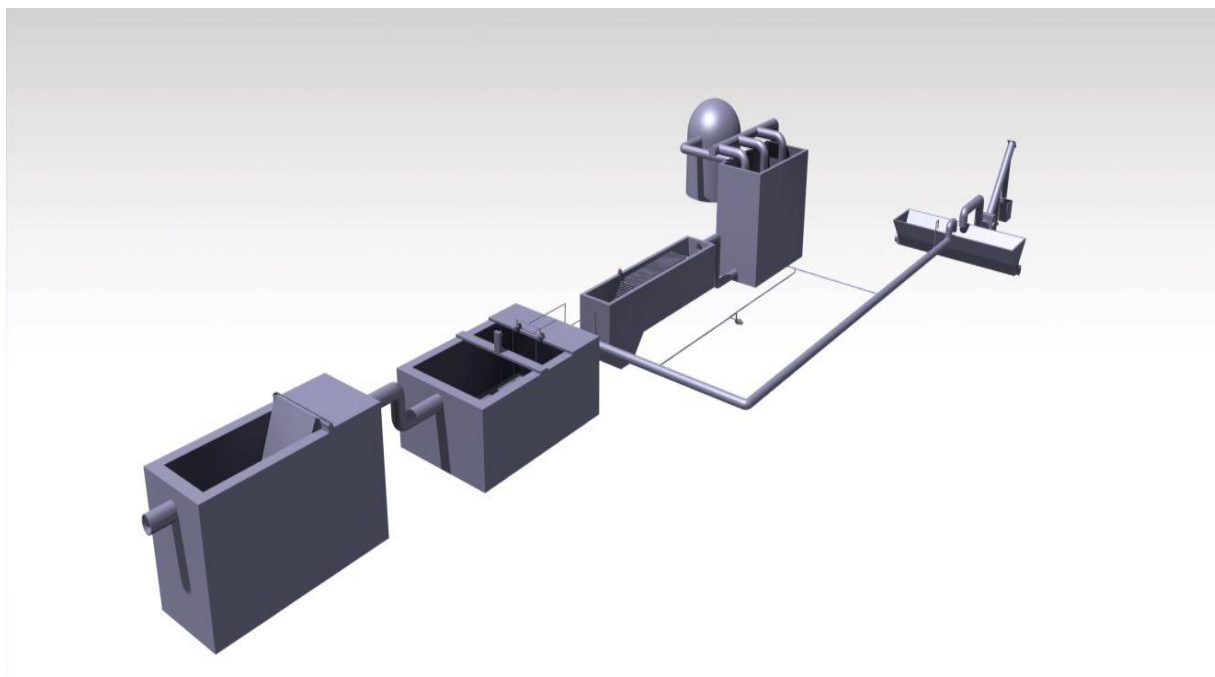
Слика 67. *Корито за складиштење муља и издвајање отпадне воде кроз дренажну цев*

На слици 68 приказан је **декантер са спиралним вратилом** који има улогу извлачења преостале количине муља из система и његовог транспорта у контејнер путем вертикалне цеви, ка његовом даљем одлагању (транспорту).

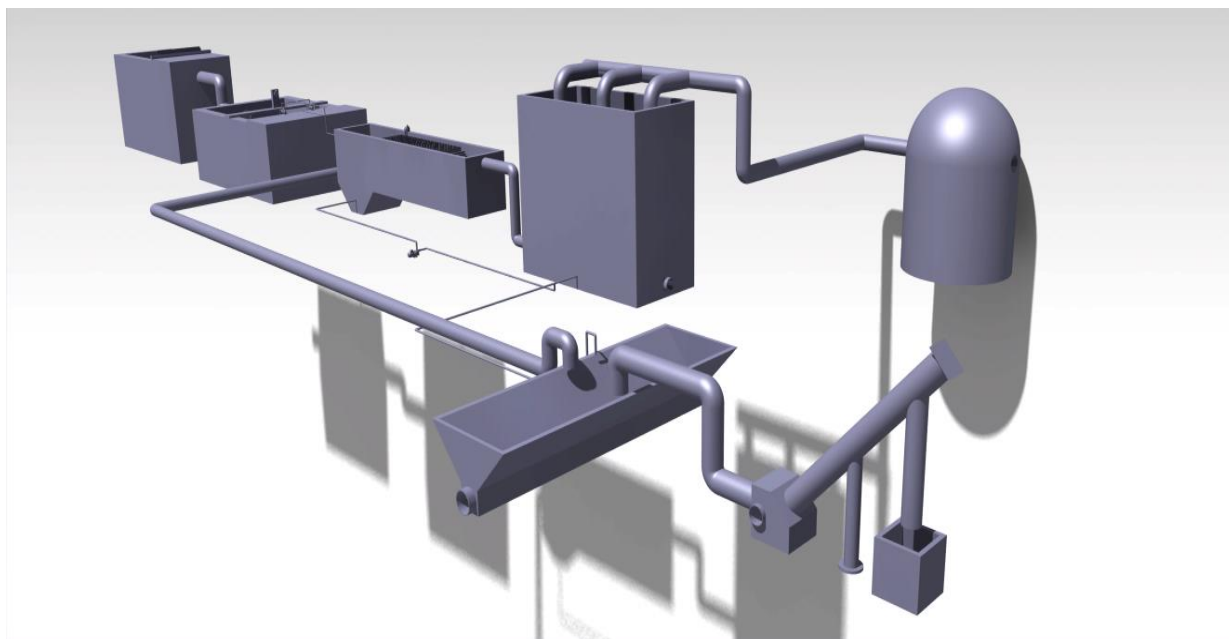


Слика 68. *Декантер са спиралним вратилом*

На самом крају представљен је 3D модел комплетног постројења за третман отпадних вода у пивари (слика 69).



Слика 69. 3Д приказ постројења за третман отпадних вода у пивари (поглед са предње стране)



Слика 70. 3Д приказ постројења за третман отпадних вода у пивари (поглед са задње стране)

7. Техно - економска анализа UASB реактора

У овом раду, извршена је техно - економска анализа UASB реактора, при чему је посебно обрађена пажња на конструкционе материјале који утичу на инвестициона улагања (табела 16), како би се остварио адекватан период отплате.

У економској анализи биће приказани периоди отплате UASB реактора, уколико би се гас који се производи продавао дистрибутивној мрежи по цени струје која тренутно важи у Србији (просечна цена више и ниже тарифе), као и по повлашћеним ценама (тзв. feed - in тарифама).

Табела 16. Инвестициона улагања за UASB реактор

Инвестициона улагања за UASB реактор	
Саставне компоненте	Цена у [€]
Базен димензија [6m x 3m x 5.4m]	6892
Сакупљачи гаса и трофазни сепаратори	4049
Цевоводна мрежа за UASB реактор	2130
Укупно:	13071

Сценарио 1. Економска анализа исплативости за просечну цену електричне струје (виша и нижа тарифа за једнотарифно бројало подељено по зонама)

Уколико је познато да је цена електричне струје која износи 5.6 динара у просеку, можемо рећи да је добит на годишњем нивоу:

$$5.6 \text{ динара} \cdot 589000 \text{ kWh} = 3298400 \frac{\text{динара}}{\text{год.}}$$

или у еврима

$$\frac{3298400 \frac{\text{динара}}{\text{год.}}}{118 \text{ динара}} = 27953 \text{ € / год.}$$

$$\text{Период отплате} = \frac{\text{Инвестиција}}{\text{Добит}} = \frac{13071 \text{ €}}{27953 \text{ €}} = 0.47 \text{ год.}$$

Сценарио 2. Економска анализа исплативости за повлашћене цене електричне струје (тзв. feed-in тарифе)

Уколико је познато да је цена повлашћене електричне струје у Србији 8.44 c€ / kWh, можемо рећи да је добит на годишњем нивоу:

$$8.44 \text{ c€} / kWh \cdot 589000 kWh = 4971160 \frac{\text{c€}}{\text{год.}}$$

или у еврима $4971160 \frac{\text{c€}}{\text{год.}} \cdot (0.01 \text{ €}) = 49712 \text{ €} / \text{год.}$

$$\text{Период отплате} = \frac{\text{Инвестиција}}{\text{Добит}} = \frac{13071 \text{ €}}{49712 \text{ €}} = 0.26 \text{ год.}$$

8. Закључак

Загађење вода представља најкомплекснији глобални еколошки проблем. Свако загађење које се емитује у животну средину доспева до подземних вода, река, језера и мора. Загађења земље сливају се у површинске и подземне водене токове.

Природна или кондиционирана вода, пошто је једном искоришћена за одређену намену постаје отпадна вода. Том приликом у њен састав улази мања или већа количина различитих примеса – загађивача (полутаната), односно њене физичке, хемијске и биолошке карактеристике се у току употребе толико мењају да она постаје неподобна за ону употребу при којој је и настала.

Индустријске отпадне воде значајно се разликују од санитарних и комуналних отпадних вода, како по количини тако и по саставу. Такође постоје велике разлике између отпадних вода из појединих индустрија.

Отпадна вода добијена из прехранбене индустрије је биоразградива. Обично постоје промене у количини насталих отпадних вода. Максимални проток може да буде 2.5 - 3.5 пута већи од просечног. Максимални протоци временски кратко трају. Појава максималних протока у вези је са процесима чишћења машина.

Пречишћавање отпадних вода представља смањење или елиминацију негативних утицаја отпадне воде на водопријемнике и животну средину уопште. Пречишћавање отпадних вода обавља се применом различитих физичких, хемијских и биолошких поступака. Они се обављају у посебно изграђеним и за то намењеним базенима - реакторима.

Пиваре третман својих отпадних вода могу решавати на више начина. Једна варијанта је да условно чисте воде као што су атмосферске и технолошко - расхладне воде се испуштају у природни реципијент. Такође санитарно - фекалне отпадне воде могу се прикључити на градску фекалну канализацију. Што се тиче самих технолошких отпадних вода они се предтретманом могу довести на квалитет прописан одлуком о санитарно – техничким условима за испуштање отпадних вода у градски колектор.

Други приступ је да пивара има своје постројење за третман својих отпадних вода. Пошто је оптерећење загађења углавном органско, најчешће се примењују биолошки аеробни / анаеробни процеси. Уобичајено је да се у пиварама користи више од једног типа третмана отпадних вода. Иако се могу применити неколико врста анаеробних реактора, најчешће коришћене технике су UASB комбиновани са секвенцијалним шаржним реакторима (SBR). Друге занимљиве примене везане за аеробни третман су реактори са флуидизираним слојем и мембрански биореактори (MBR). Удружење немачких пивара подстиче поступање са отпадним водама анаеробним процесом дигестије, пошто је отпадна вода у пивари најприкладнија за анаеробни третман. Базирано на анаеробној дигестији створено је више од 23,6 милиона m^3 биогаса годишње у Европи (2010), што показује пораст од 7% у периоду од 2008 - 2010 године.

Анаеробна дигестија се најчешће употребљава као процес третмана код јако оптерећених отпадних вода. Процес се темељи на конверзији органских једињења у CO_2 и метан – биогаз, помоћу микроорганизама у условима без кисеоника и уз повишену температуру. Реактор са лебдећим муљем (Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor – UASB reactor) представља комору за анаеробну реакцију отпадне воде са муљем који се налази у форми покривке. У UASB реактору отпадна вода има вертикалан ток струјања, са дна реактора, ка врху, на ком се налази трофазни сепаратор, један од кључних компонената, који раздваја генерисани биогаз, отпадну воду и суспендоване честице.

Предлог техничког решења заснива се на високом степену анаеробног пречишћавања отпадних вода и добијања метанског гаса који би се касније трансформисао у произведену електричну енергију која би се дистрибуирала електричној мрежи. Такође систем поседује решетке које спречавају продор крупнијих материја из отпадних вода, егализациони базен у којем се налази вертикалан мешач, који је покренут од стране електромотора. На такав начин се вештачким путем ствара аерација у базену, при чему се изједначава доток и састав отпадних вода контролишући њену рН вредност у границама које су дозвољене за пиваре. Између осталог овај систем поседује примарни таложник за седиментацију који служи да издвоји један део муља из отпадних вода и код UASB реактора постоји рециркулациони вод у којем се налази муљна пумпа која рециркулише муљ поново до таложника смањујући оптерећење UASB реактора. Пречишћене отпадне воде испуштају се у природни реципијент док муљ пролази кроз фазу дехидрације и извлачења путем декантера. Овај систем је поуздан и јефтин јер у самом постројењу се не налази варијанта терцијалног третмана отпадних вода која би утицала на рентабилност пројекта.

Квалитет живота на Земљи у будућности умногоме ће зависити од количине исправне воде. Као најосновнији извор живота вода се немилице троши и загађује. Да би се овај тренд зауставио, велики број земаља предузима опсежне мере и улаже велика средства како би се зауставило загађење воде и у природу вратила чиста незагађена вода.

Литература

1. Кристина Франовић, Технолошки процес производње пива, завршни рад, Велеучилиште у Карловцу, 2016.
(<https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A393/datastream/PDF/view>) (14.4.2018)
2. <http://vinopivorakija.com/pivo/pivo-proizvodnja/> (14.4.2018)
3. Неџад Шакић, Технологија производње пива уџбеник, Привредна / Господарска комора Федерације Босне и Херцеговине, Сарајево, 2005.
4. <https://www.tehnologijahrane.com/enciklopedija/tehnologija-proizvodnje-piva> (14.4.2018)
5. <https://www.slideserve.com/clay/karakteristike-pojedinih-biotehnolo-kih-procesa-pivo-vino> (14.4.2018)
6. Суљичић Адис: Технологија пива, матурски рад, Босна и Херцеговина, Зеничко добојски кантон, Општина Маглај, школска 2012/13 година.
7. Малцев П. М.: Технологија слада и пива, Пословно удружење индустрије пива, Београд, 1967
8. Зоран Чамџија: Технологија пива, матурски рад, Бачка Топола, 2000
(<http://tehpiwa.tripod.com/>)
9. <https://sh.wikipedia.org/wiki/Filtracija> (14.4.2018)
10. Барас Ј., Петровић Р, Загађивање и заштита воде, Завод за уџбенике, Београд, 2009
11. Вања Шуштершич, Технологије и постројења у припреми воде за пиће и третману отпадних вода, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, Крагујевац, 2014.
12. Техничке упуте, Прехрамбена индустрија, Сектор: Производња пива, Сарајево, 2008 (http://www.fmoit.gov.ba/download/Proizvodnja_piva.pdf) (14.4.2018)
13. Ранђел Н. Китановић, Вања М. Шуштершич Третман отпадних вода, Војнотехнички гласник, Вол. LXI, No 3, стр. 122-140, Београд, 2013.
(<http://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0042-8469/2013/0042-84691303122K.pdf>)
14. http://www.mehanika.rs/documents/vibro_sita_1.html (15.4.2018)
15. <http://www.usluga-odvodnja.hr/hr/djelatnosti/obrada-otpadnih-voda/> (15.4.2018)
16. <https://www.yokogawa.com/us/library/resources/application-notes/batch-neutralization/> (15.4.2018)
17. <http://www.seminarski-diplomski.co.rs/ZastitaZivotneSredine/PreciscavanjeOtpadnihVoda.html> (15.4.2018)
18. <https://www.flottweg.com/product-lines/decanter/> (14.4.2018)
19. http://braukaiser.com/wiki/index.php?title=Alkalinity_reduction_with_slaked_lime (16.4.2018)
20. <http://www.mpd-pumpe.hr/proizvodi/aeratori/> (16.4.2018)
21. Драган Повреновић, Милена Кнежевић, Основе технологије пречишћавања отпадних вода, Технолошко – металуршки факултет, Београд, 2013.
22. Вања М. Шуштершич Поступци при третману вода, предавања, (<http://moodle.mfkg.rs/>) (17.4.2018)
23. <http://www.waterworkshop.pmf.uns.ac.rs/radionice/ww2014/cetvrtak/05%20Spasojevi%20Kapajuci%20filtri,%20rotirajuci%20bioloski%20kontaktori%20i%20kombinovani%20procesi.pdf> (17.4.2018)
24. <https://springerplus.springeropen.com/articles/10.1186/2193-1801-3-112> (17.4.2018)

25. <https://www.pdp.co.nz/project/project-1/> (17.4.2018)
26. http://wiki.biomine.skelleftea.se/biomine/srb/index_11.htm (17.4.2018)
27. https://www.researchgate.net/figure/271950934_Fig-1-Schematic-diagram-of-the-internal-airlift-loop-reactor-IALR-for-oxidation-of-sulfide-to (17.4.2018)
28. https://en.wikipedia.org/wiki/Fluidized_bed_reactor (17.4.2018)
29. <http://www.ronserbio.com/v2/2014/10/10/93/> (17.4.2018)
30. https://en.wikipedia.org/wiki/Membrane_bioreactor (17.4.2018)
31. Јошко Дујмовић, Одрживи развој и заштита околиша, Прочишћавање отпадних вода, Свеучилиште у Дубровнику, Одјел за Електротехнику и Рачунарство, Студиј пословно рачунарство, Дубровник, сирјечањ, 2012.
32. http://nett21.gec.jp/WATER/data/water_32-2.html (18.4.2018)
33. http://www.meidensha.com/products/water/prod_06/prod_06_01/index.html (18.4.2018)
34. https://www.ecologic.eu/sites/files/project/2013/1965_background_paper.pdf (18.4.2018)
35. <https://www.toroequipment.com/products/sludge-conditioning-tank/> (18.4.2018)
36. Examples of Food Processing Wastewater Treatment, (https://www.env.go.jp/earth/coop/coop/document/male2_e/007.pdf) (18.4.2018)
37. Обрада отпадних вода индустрије пива, семинарски рад, Технолошки факултет Лесковац, 2012.
38. K. Valta, T. Kosanovic, D. Malamis, K. Moustakas, M. Loizidou, Water consumption and wastewater generation and treatment in the Food and Beverage Industry, School of Chemical Engineering, National Technical University of Athens, Athens, Greece
39. Главни пројекат објеката за сакупљање, пречишћавање и испуштање отпадних вода “Јагодинске Пиваре” АД у градску канализацију града Јагодине на К.П. БР. 4010 К.О. Јагодина, Параћин, Децембар, 2013.
40. <https://www.sswm.info/category/step-rrr-business-development/module-2-sector-inputs/technological-options/technological-14> (20.4.2018)
41. Марија Вуковић, UASB reactor – Upflow anaerobic sludge blanket digestion (анаеробна дигестија муља), Семинарски рад из предмета: Напредне технике у третману вода, Крагујевац, 2018.
42. Amit Dhir, Chhotu Ram, DESIGN OF AN ANAEROBIC DIGESTER FOR WASTEWATER TREATMENT, Vol. 1, No. 5, November, 2012.