

ЗЕЛЕНА ХИМИЯ В УЧИЛИЩНАТА ЛАБОРАТОРИЯ

¹⁾Александрия Генджова, ²⁾Мая Тавлинова-Кирилова,
¹⁾Александра Камушева

¹⁾Софийски университет „Св. Климент Охридски“

²⁾Институт по органична химия с център по фитохимия – БАН

Резюме. Въпреки големия принос на химията нейният негативен образ в обществото е сериозен проблем. Зелената химия (или устойчивата химия) разглежда ефективното използване на суровините и отстраняване на отпадъците и въпроси, свързани със здравето, безопасността и околната среда. Тя предлага възможност за приложение на идеите за устойчивост в училищната практика. В настоящата работа се изследва ефектът от прилагането на зелената химия в лабораторната работа при изучаване на химични процеси за учениците от X клас. Подбрани и адаптирани са „зелени“ алтернативи на традиционните опити по темата. Качеството и приложимостта на опитите и дидактическите материали към тях са валидирани чрез експертна оценка от 16 учители. Проведени са лабораторни упражнения с акцент върху зелената химия. Извършено е анкетно проучване с анкетна карта с 23 твърдения на 70 ученици от X клас. Десетокласниците дават висока оценка на зелените опити по отношение на тяхната: безопасност, икономичност, връзка с ежедневието, достъпност и атрактивност. Според повечето от тях експерименталната работа води до ангажирането им в часовете по химия, а химията става по-интересна, по-разбираема и по-достъпна. Акцентът към зелената химия в лабораторната дейност допринася за развитие на екологичното съзнание и поведение. Десетокласниците смятат, че се подобрява отношението им към предмета, защото виждат науката в нова, по-добра светлина, като щадяща околната среда. Това е ефективен метод за мотивиране на учениците да изучават химия и да се влияе на техните нагласи и емоции към устойчивост и екологични въпроси.

Keywords: green chemistry; sustainability; chemical education; laboratory work

Въведение

Научноизследователската и развойна дейност на химията и нейните отрасли допринасят за подобреното качество на живот. Множество химически продукти имат положително въздействие върху здравето и благосъстоянието на човека. Въпреки ползите за живота на хората мнозина считат,

че химията „причиняват повече вреда, отколкото полза“ (Lancaster, 2002). В медиите се споменават тенденциозно само бедствия и замърсявания, а не важни изобретения или ползата за обществото (Clark, 1999).

От друга страна, подобрението в качеството на живот на хората по света доведе до негативно въздействие върху природата и затова е необходима съществена промяна. Обществото, включително индустрията, трябва да вземе съзнателни решения относно околната среда за устойчивост, с което трябва да отговорят на днешните потребности, без да застрашават тези на бъдещите поколения.

През последните десетилетия има широк интерес към „зелената химия“ поради способността ѝ да използва химически иновации, за да отговори едновременно на екологичните и на икономическите цели пред обществото.

Зелената химия се основава на набор от радикални идеи, които се припокриват с принципите на устойчивостта и предлагат модерна версия на химията, която е по-малко токсична, по-малко опасна, високо ефективна и не замърсява (Fenech Caruana, 2015).

Най-лесният начин да се гарантират решенията, свързани с устойчивостта, е подкрепата за прилагане на зелената химия във всички нива на образованието, като се започне от средното училище и се продължи до университета (Eilks & Rauch, 2012).

Образованието трябва да се разглежда като един от ключовите елементи за постигане на устойчиво развитие. С подходящо образование бъдещите поколения ще разберат взаимовръзката на икономическите, екологичните и обществените промени и ще се научат как да участват активно в устойчивото формиране на обществото (De Naan, 2010).

В настоящото изследване се проучва мнението на представителите на младото поколение – ученици от десети клас, което е все по-чувствително към проблемите на околната среда, по въпросите на зелената химия и нейното приложение в експерименталната работа.

Изследователските въпроси, които са поставени, са: Има ли „зелени“ алтернативи на традиционните училищни експерименти при изучаване на химични процеси в X клас? Дали експерименталната работа на учениците, с акцент върху зелената химия, води до подобряване на резултатите от обучението?

Устойчивост и зелена химия

Идеята за „устойчивостта“ представлява промяна на парадигмата в разбирането на връзката между човечеството и околната среда и признаване, че настоящото прекомерно използване от човечеството на природните ресурси, съчетано с прекомерно генериране на отпадъци и замърся-

ване, води до неустойчива и застрашена глобална среда (Hill et al., 2013).

Устойчивостта и устойчивото развитие, макар и широко използвани понятия, имат много различни значения (WCED, 1987; Daly, 1996; Ehrenfeld, 2009; Shaker, 2015 и др.). Най-често устойчивото развитие се дефинира като подобряване на качеството на живота, без да се причинява по-нататъшно влошаване на околната среда, като същевременно се обезпечават нуждите на бъдещото поколение (WCED, 1987). Според Shaker (2015) устойчивостта трябва да се разглежда като важна цел на човечеството за равновесие между човешките и екологичните системи, докато устойчивото развитие се отнася до цялостния подход и времевите процеси, които ни водят до постигане на устойчивост.

Зелената химия (или устойчивата химия – в Европа) се определя като изобретяване, проектиране, разработване и прилагане на химически продукти и процеси за намаляване или елиминирание на употребата и генерирането на вещества, опасни за човешкото здраве и околната среда (Anastas & Beach, 2009). Тя е насочена към проектиране на химикали, в идеалния случай получени чрез безопасни процеси, без странични продукти и прекомерно изразходване на ресурси, включително енергия (Marques & Machado, 2014). Зелената химия разглежда два основни компонента – проблема с ефективното използване на суровините и съпътстващото отстраняване на отпадъците и въпроси, свързани със здравето, безопасността и околната среда (Ravichandran, 2011; Sheldon, 2012; Song & Han, 2015). Въпреки че изглежда, че зелената химия и устойчивата химия са синоними, се предполага, че има незначителна разлика. Под устойчива химия се подразбира по-енергийно ефективни, по-малко замърсяващи химически производствени процеси, които могат да генерират по-големи печалби. Зелената химия се фокусира повече върху „зелените“ химични реакции за производство на продукти, които са благоприятни за околната среда, но не са непременно от индустриален интерес или значение (Tundo et al., 2000).

Дванадесетте принципа на зелената химия (Anastas & Warner, 1998) представляват конструкция за проектиране на по-безопасни химикали и химически трансформации. Те включват: проектиране на максимално ефективни и по-малко опасни химични синтези; безопасни химикали, разтворители, помощни вещества, продукти; планиране на енергийна ефективност; използване на възобновяеми суровини и материали; намаляване на междинните продукти; използване на катализатори; развитие на аналитични методологии за контрол на образуването на опасни вещества и сигурност за избягване на инциденти.

Практиката на зелената химия е широкообхватна. Тя включва области като: синтез на полимери (Cheng et al., 1998; Anastas et al., 2000); из-

ползване на биобазирани или възобновяеми суровини за получаване на горива и ценни химични продукти (Sheldon, 2016; Ravichandran, 2011; Ho et al., 2000; Wool et al., 2000); алтернативни реакционни среди – вода, йонни течности, суперкритични флуиди (Kerton & Marriott, 2013; Tanaka, 2003; Li, 2000; Blanchard et al., 2001); биокатализа и катализа (Manzer, 1994; Hoelderich, 2000; Borman, 2002; Sheldon, 2016); нови аналитични методи (Anastas & Kirchhoff, 2002); алтернативни реакционни условия и методи за синтез (Groth et al., 2000; Sato et al., 1998).

Устойчивост и зелена химия в химическото образование

След появата си през 90-те години зелената химия става важна част от индустриалната, социалната и образователната практика (Armstrong et al., 2018). Налице е силен международен ангажимент за образование по зелена химия. В резултат на това вече има добри практики в САЩ, Великобритания, Германия, Япония и други страни. Образователни инициативи в областта на зелената химия включват учебници, казуси, лабораторни експерименти, летни училища, обучение на преподаватели и учители от средното образование, ресурсни инструменти, образователни симпозиуми и професионални семинари (Kolopajlo, 2017). По-голяма част от тези инициативи са в областта на висшето образование, и по-специално в органичната химия (Doxsee & Hutchison, 2004).

Прегледът на литературата показва, че списанията за химическо образование изместват акцента от използването на термина „зелена химия“ към „устойчива химия“. От гледна точка на химията, устойчивата химия носи по-глобално значение от зелената химия. Някои автори смятат, че двете идеи са обединени и имат общи цели, описващи приноса на химията към по-безопасни продукти и процеси, а други, в друг контекст ги разглеждат като отделни полета (Kolopajlo, 2017). В работата тук ще говорим за практика на образованието за устойчивост като по-широко понятие.

Burmeister et al. (2012) представя четири модела, които показват как интеграцията на въпросите за устойчивостта може да е съвместима с обучението по химия.

При първия модел се прилагат принципите на зелената химия на Anastas & Warner (1998) в лабораторната практика. При този подход се акцентира върху намаляване на количествата на реагентите; заместване с по-малко опасни вещества; използване на катализатори за намаляване на енергийните нужди; произвеждане на по-малко отпадъци; използване на непрекъсната рефлексия, за да се затвърди наученото за зелената химия (Kolopajlo, 2017). Учебническите опити могат да бъдат променени от макро- към микромасщаб, опасните вещества могат да бъдат заменени с по-

малко отровни, а катализаторите да се използват за стимулиране на реакциите (Singh et al., 1999). В допълнение към лабораторните упражнения, принципите на зелената химия могат да бъдат показвани чрез групови проекти или дейности, които позволяват на учениците да свържат химията с обществените проблеми или да направят лична връзка между химическата тема и собствения си живот и да разбират значението на зелената химия в ежедневието (Klingshirn & Spessard, 2009; Millar, 2004; Lennon et al., 2002; Levy et al., 2005; Karpudewan et al., 2009). Важно е и това, че лабораторната работа, като неразделна част от преподаването и обучението по химия, повишава смисленото учене, концептуалното разбиране и вникването в естеството на науката (Hofstein et al., 2007). Изучаването на приноса на химията към устойчивото развитие се разширява, когато учениците разпознават, сравняват и обмислят промените в стратегиите. Учениците учат как химическите изследвания и индустрията се опитват да сведат до минимум използването на ресурси, да увеличат максималната ефективност на процесите и да защитят околната среда (Karpudewan et al., 2009). Тази стратегия има потенциал да промени нагласите и знанията на учениците. Силата на този подход е, че образованието по химия наистина допринася за устойчивостта чрез намаляване на използваните химикали и чрез отделянето на по-малко отпадъци.

При втория модел се интегрира устойчивостта с химическото образование. Този подход е контекстно базиран. Той въвежда зелената химия и устойчивостта заедно с химичното съдържание, което прави обучението подходящо за даване на успешни примери, включващи енергия, възобновяеми горива, промишленост и фармацевтични продукти. При него основните химически принципи за устойчивата, зелената химия и техните индустриални приложения се появяват теми в учебните програми по химия. Практическите примери за това включват разработването на ефективни процеси в областта на опазването на енергията и суровините, изследване на структурата, свойствата и приложението на иновативни катализатори и химическите съображения, свързани с производството на горива от възобновяеми материали (Bader & Blume, 2007). Силата на този подход е, че се изучават химическите принципи, прикрити зад ежедневните процеси и крайните продукти, като по този начин ги прави по-значими за учениците (Ware, 2001; Pilot & Bulte, 2006) и способства да се подобри научната им грамотност (Kolopajlo, 2017).

При третия модел се използват дискуссионни въпроси, свързани с устойчивостта. Чрез социално-научния дебат се стимулира интересът на учениците към зелената химия и устойчивостта. При този модел се използват ясни познания върху химическото съдържание, но се фокусира и върху това как химията влияе на обществото. Той интегрира обучението

по химия, използвайки социално-научните въпроси, които предизвикват дебат в обществото (Marks & Eilks, 2009). Моделът се фокусира главно върху това как развитието на химията се оценява и обсъжда в обществото, като се използват всички измерения на устойчивостта (Burmeister & Eilks, 2012). Примери за продължаващи противоречия са: използването на биогорива (Eilks, 2002; Feierabend & Eilks, 2011), прилагането на специфични съединения и техни алтернативи в ежедневни продукти (Marks & Eilks, 2010) и оценка на иновативни химически продукти (Burmeister & Eilks, 2012). Силата на този подход е, че е ориентиран към умения за вземане на решения, които могат да допринесат за формиране на устойчиво бъдеще (Burmeister et al., 2012).

При четвъртия модел се интегрира химичното образование, водено от принципите за устойчиво развитие, в образователната институция. Прилага се най-често в началните и средните училища (Rauch, 2002). Този модел предполага, че училищният живот и преподаването трябва да станат част от образование за устойчиво развитие, и включва развитие, самооценка и рефлексия (Shallcross et al., 2006). За да се промени училището и да предлага нов опит, разсъждения и иновации, непременно трябва да се промени начинът, по който хората дискутират и действат (Breiting et al., 2005). Обучението по химия може активно да допринесе за спестяване на ресурси (енергия, чиста вода и т.н.) дори и в училище. Може също да даде предложения за третиране на отпадъците по ефективен начин, подходящ за по-късно рециклиране. Предимството на този подход е, че уроците по химия и училищният живот се превръщат в модел на живот и учене, основаващ се на действие. Учениците получават опит от първа ръка как действията им могат фундаментално да променят живота им (Burmeister et al., 2012).

Като цяло, включването на зелената химия в обучението има потенциал да подобри изучаването на химията по съществен начин чрез увеличаване на разбирането на основните концепции по химия (Hill et al., 2013). Предполага се също, че включването на принципите на зелената химия в училищната учебна програма обслужват повече от една цел. Може да се използва за разбиране на социалното и екологичното въздействие на днешната химия (Kitchens et al., 2006), но също така допринася за общите цели на научното образование, важен елемент от които е развитието на научната грамотност в обществото (Karpudewan et al., 2012). Всъщност зелената химия предоставя на учениците възможност да свържат химията в училище с различни аспекти на ежедневието си (Osborne & Collins, 2001). Ако учениците разбират връзката между химията и проблемите на околната среда и оценят ползата от химията за своя личен живот, се подобряват значително нагласите им по отношение на химията и

околната среда (Mandler et al., 2012), повишава се и техният интерес към предмета (Gendjova, 2007; 2014). Курсовете по зелена химия подобряват: критичното мислене на учениците, способностите им за решаването на екологични проблеми и за комуникация; уменията на учащите да провеждат сами проучвания, техните лабораторни умения, самоувереност, независимост и способности за работа (Marteel-Parrish, 2014). Чрез подобряване на публичния имидж на химията учениците се ангажират и се привличат към професията на химика (Levy et al., 2005).

Прилагане на идеите на зелената химия в лабораторната практика в X клас¹⁾

За целите на обучението по предмета „Химия и опазване на околната среда“ за X клас по разделите *Характеристика на химичните процеси и Разтвори и химични процеси във водни разтвори* се използват голям брой опити за онагледяване и разбиране на учебния материал. В лабораторните упражнения опитите се фокусират главно върху основни експериментални техники, приложение на наученото и безопасна работа с опасни химикали. Учениците не разглеждат реакциите, използвайки показателите за устойчивост, и не вземат предвид ефекта върху околната среда. Голяма част от тези експерименти изискват използването на вредни за здравето химикали, като солна и сярна киселина, натриев тиосулфат, калиев бихромат, калиев перманганат, бромна вода, опасни газове, като хлор, азотни оксиди и серен диоксид (Malcheva et al., 2000; Kirkova et al., 1994). Учениците, които правят експериментите, са изложени на тях при недостатъчна вентилация. Въпреки ясно описаните процедури за обезвреждането им използваните химикали понякога се изхвърлят в лабораторни канали. Така вредните химикали могат да повлияят на учениците, училището и околната среда. Произходът на химическите реактиви за учениците до голяма степен е загадка. Също така те малко се интересуват от това какво се случва с материалите, изсипани на местата за събиране на опасни отпадъци в края на всеки експеримент.

Предвид направените изводи бяха определени критерии за подбор на съдържанието на „зелени“ експерименти: относително безопасни материали, реактиви и разтворители; ниска разходна стойност на средствата и материалите; по-щадящи околната среда отпадни продукти; умерена трудност; икономични и относително бързи процедури; познати от ежедневието вещества или реакции; да са алтернатива на традиционните опити⁽²⁻⁴⁾ и адаптирани „зелени“ експерименти са свързани с изучаването на химичните процеси и отговарят на програмата по „Химия и опазване на околната среда“ за X клас. Идеите за някои от тях са показани в таблица 1. Опитите са подходящи за демонстрации и за лабораторна работа.

Таблица 1. Някои традиционни и „зелени“ опити за изучаване на химични процеси в X клас

Теми	Традиционни химични експерименти	„Зелени“ алтернативни експерименти
Скорост на химична реакция и фактори, които ѝ влияят	Изследване на влиянието на концентрацията и температурата върху скоростта на: – реакция между цинк и солна киселина (или цинк и сярна киселина); – часовникова реакция с водороден пероксид, сярна киселина, разтвор на калиев йодид, натриев тиосулфат и нишесте; – реакция между разтвор на натриев тиосулфат и сярна киселина при стайна температура и при нагриване.	Изследване на влиянието на концентрацията и температура върху скоростта на: – химична реакция между сода и оцет; – часовникова реакция с разтвори на витамин С, йодна тинктура и разтвори на нишесте и водороден пероксид; – изследване на влиянието на повърхността на веществата върху скоростта на реакцията; – запалване на пудра захар или нишесте на открит пламък.
Влияние на различни фактори върху система в химично равновесие	– Изследване на влиянието на концентрацията върху система в равновесие: хромат-бихромат в разтвор на киселина или основа. – Изследване влиянието на концентрацията върху система в равновесие: железен трихлорид – амониев тиоцианат. – Изследване на влиянието на температурата при димеризиране на азотен диоксид.	– Изследване на влиянието на концентрацията върху система в равновесие – разтвор на черен чай, с добавяне на лимонов сок или амоняк. – Изследване на влиянието на налягането и температурата върху система в равновесие – газирана вода, въглероден диоксид и вода, при различно налягане и температура. – Изследване на влиянието на температурата за система в равновесие: фенолфталеин и амонячна вода.

Следователно отговорът на първия изследователски въпрос е, че има „зелени“ алтернативи на традиционните експерименти при изучаване на химични процеси в X клас.

Изследване на ефекта от използване на „зелените“ опити в училищната практика

Преди въвеждане на зелените опити в училище е направена експертна оценка на качествата на опитите и дидактическите материали и приложимостта им в практиката. В нея участват общо 16 млади учители с придобита

учителска правоспособност, завършили модул *Учител по химия* на Факултета по химия и фармация. Използвана е експертна карта с 23 твърдения в три направления: съответствие с основни педагогически изисквания; съответствие с принципите на зелената химия; очакван ефект от лабораторната работа върху резултатите от обучението и приложимостта ѝ в учебната практика. Пред младите учители са направени демонстрации на част от опитите и са представени примерни работни листове и таблици с описание на всички „зелени“ опити. За оценяването на твърденията е използвана петстепенна Ликертова скала.

Според всички експерти „зелените“ експерименти отговарят на изискванията към тях: свързани са с изучаваното учебно съдържание; показват връзката с практиката и живота; могат да послужат за постигане на учебните цели; съобразени са с нивото на ученическите знания и умения. 15 от анкетираните смятат, че опитите са описани подходящо. Според повечето учители експерименталната дейност с акцент върху зелената химия ще повлияе върху резултатите от обучението, като спомогне за развитието у учащите на: практически умения и природонаучна грамотност – за 15 от тях; положително отношение към химията – за 14 от тях; екологичното съзнание и поведение – за 12 от тях. Експертите преценяват, че зелените опити могат да бъдат приложени в обучението под формата на: лабораторни опити и при работа по проекти – 16; демонстрационни опити – 14; домашни експерименти – 13; опити за работа в кръжок или избираема подготовка – 12. Според резултатите от направената оценка предложените опити могат да бъдат използвани в учебна среда.

За да се изследва ефектът от включване на зелена химия в лабораторната работа, е разработена анкетна карта с 23 твърдения, чрез която се търси мнението на учениците в четири направления. С първата група твърдения се оценява съответствието на опитите с принципите на зелената химия, с втората – качествата на опитите и работните листове, с третата – влиянието на експерименталната работа върху резултатите от обучението, а с четвъртата – най-подходящите според учениците методи и стратегии за разбиране на проблемите, свързани с устойчиво развитие, и за формиране на устойчиво поведение (в картата има и кратко упътване за същността на понятията устойчивост и зелена химия). За първите три групи твърдения е използвана петстепенна Ликертова скала за оценяване, а за четвъртата се използва скала от четири степени.

През месец май 2019 г. в 91. немска езикова гимназия в София са проведени лабораторни упражнения с акцент върху зелената химия с четири паралелки с продължителност два учебни часа. Учениците работят с помощта на работни листове. Целта на опитите е да се приложат знанията и уменията на учениците за скорост на химичните реакции и за химично равновесие, като изследват влиянието на концентрацията на веществата и температурата върху скоростта на химичната реакция и на концентрацията и температурата върху

система в химично равновесие. След извършаване на лабораторната работа общо 70 ученици попълват раздадените анкетни карти.

Резултатите от изследването показват, че почти всички ученици преценяват, че опитите от лабораторните упражнения съответстват на принципите на зелената химия (фиг. 1). Десетокласниците смятат, че: при тях се използват безвредни за околната среда вещества и за извършването им се изразходва малко количество енергия – общо 69 ученици (99 %); изходните вещества и материали за тях са сравнително евтини – 68 (97 %), а отпадъчните вещества не създават екологични проблеми – 67 (96 %), и чрез зелените опити се икономисват скъпи химически реактиви – 66 ученици (94 %).

Учениците дават висока оценка на качеството на опитите и работните листове към тях (фиг. 2). Експериментите са определени като: интересни от 63 ученици (90 %); достъпни – от 62 ученици (89 %); неизискващи голяма предварителна подготовка – от 61 (87 %); лесни – от 60 (86 %); сравнително бързи – от 59 (86 %), и са описани ясно и разбираемо в работните листове – от 58 ученици (84 %).

Учениците преценяват ефекта от лабораторната работа за себе си по различен начин (фиг. 3). Най-голяма част от учащите мислят, че чрез нея се показва връзката на химията с реалния свят – 62 ученици (89 %), и се вижда науката в по-добра светлина, като щадяща околната среда – 61 (87 %). „Зелените“ опити помагат за по-доброто разбиране на предмета на 59 ученици (84 %). Повече от половината десетокласници смятат, че химията може да решава проблеми – 43 ученици (61 %). За половината от тях акцентът върху зелената химия ги кара да се замислят по екологични проблеми – 36 (51 %), и да търсят устойчиви решения в ежедневието си – 35 (50 %). Само един ученик смята, че използването на зелени опити в обучението по химия няма смисъл.



Фигура 1. Съответствие на опитите с принципите на зелената химия според учениците



Фигура 2. Ученическо мнение за качествата на опитите

От анализа на последната група резултати става ясно, че за разбиране на проблемите, свързани с устойчивото развитие, за учениците са полезни както лабораторната работа, така и работата по проекти, съвместното обсъждане на проблеми на устойчивото развитие, както и традиционното съобщаване от учителя на приложенията на химията за опазване на околната среда.



Фигура 3. Значение на лабораторната работа за учениците

В края на анкетата учениците дават свободно мнението си за това с какво са им допаднали или не подобен тип опити. Те определят опитите като интересни, различни, представляват разнообразие за тях, което води до по-бързо и ефективно учене на материала. Те намират експерименталната работа за

приятно занимание, което ги ангажира повече с изучаване на предмета и им помага за разбиране на химията.

Десетокласниците са впечатлени от безвредността на опитите и факта, че те ги карат да се замислят за околната среда. Те са заинтригувани от това, че реактивите са познати вещества от ежедневието, и твърдят, че „така им е по-лесно да се възползват от химията“, а също така „да мислят и действат по-екологично“. Учениците харесват зеления акцент в лабораторната работа, защото така осъзнават „важността на опазването на околната среда, а иначе просто виждат красиви реакции, без да се замислят за въздействието на веществата върху околната среда“. Те препоръчват да се използват такива зелени опити, които са интересни и лесно запомнящи се, и да се обсъждат глобални проблеми, свързани с околна среда.

Заклучение

Предложените „зелени“ алтернативи на традиционните химични експерименти и работни листове към тях са подходящи за използване в училищната практика. Анкетираните ученици и учители дават висока оценка на опитите и дидактическите средства към тях. При тяхното използване се създават безопасни условия и реално се допринася за устойчивостта.

Експерименталната работа води до ангажиране на учениците в часовете по химия, защото намират правенето на опити за приятно занимание. По този начин учениците правят изводи и заключения въз основа на собствени наблюдения, придобиват умения за лабораторна работа и откриват приложението на химията в ежедневието. Химията става по-интересна, по-разбираема и по-достъпна за тях.

Акцентът върху зелената химия в лабораторната работа допринася за развиване екологичното съзнание и поведение у учениците. Това води и до подобряване на отношението на учениците към предмета, защото виждат науката в нова, по-добра светлина, като щадяща околната среда.

Учениците трябва да бъдат запознати с философията и практиката на зелената химия. Това е ефективен метод за мотивиране на учениците да изучават химията и да се влияе на техните нагласи и емоции към устойчивост и екологични въпроси. Този нов начин на мислене ще помогне на учениците за ефективно справяне с предизвикателствата на XXI век за постигане на устойчив свят.

БЕЛЕЖКИ

1. <https://www.mon.bg/bg/2238>
2. <https://www.dec.ny.gov/education/104714.html>
3. <https://www.beyondbenign.org/cur-high-school/>
4. <https://www.middleschoolchemistry.com>

REFERENCES

- Anastas, P.T. & Beach, E.S. (2009). Changing the course if chemistry (pp. 1 – 18). In: Anastas, P.T., Levy, I.J. & Parent, K.E. (Eds.). *Green chemistry education*. Washington: ACS.
- Anastas, P.T. & Kirchhoff, M. (2002). Origins, current status, and future challenges of green chemistry. *Acc. Chem. Res.*, 35, 686 – 694.
- Anastas, P.T. & Warner, J.C. (1998). *Green chemistry: theory and practice*. Oxford: Oxford University Press.
- Anastas, P.T., Bickart, P.H. & Kirchhoff, M. M. (2000). *Designing safer polymers*. New York: Wiley.
- Armstrong, L.B., Rivas, M.C., Douskey, M.C. & Baranger, A.M. (2018). Teaching students the complexity of green chemistry and assessing growth in attitudes and understanding. *Current Op. Green & Sustainable Chem.*, 13, 61 – 67.
- Bader, H.J. & Blume, R. (1997). *Environmental chemistry in classroom experiments*. Delhi: IUPAC.
- Blanchard, L.A., Gu, Z. & Brennecke, J. F. (2001). High-pressure phase behaviour of ionic liquid/CO₂ systems. *J. Phys. Chem. B.*, 105, 2437 – 2444.
- Borman, S. (2001). Asymmetric catalysis wins. *Chem. & Eng. News*, 79(42), 5.
- Kitchens, C., Charney, R., Naistat, D., Farrugia, J., Clarens, A., O'Neil, A., Lisowski, C. & Braun, B. (2006). Completing our education: green chemistry in the curriculum. *J. Chem. Educ.*, 83, 1126 – 1129.
- Breiting, S., Mayer, M. & Mogensen, F. (2005). *Quality criteria for ESD-schools*. Vienna: ENSI.
- Burmeister, M. & Eilks, I. (2012). An example of learning about plastics and their evaluation as a contribution to education for sustainable development in secondary school chemistry teaching, *Chem. Educ. Res. & Practice*, 13(2), 93 – 102.
- Burmeister, M., Rauch, F. & Eilks, I. (2012). Education for sustainable development (ESD) and chemistry education. *Chem. Educ. Res. & Practice*, 13(2), 59 – 68.
- Caruana, M.F. (2015). *Greening the chemistry curriculum in Maltese educational institutions: the reaction of pre-university students to the introduction of green chemistry; a case study from Malta: PhD thesis*. York: University of York.
- Cheng, M., Lobkovsky, E.B. & Coates, G.W. (1998). Catalytic reactions involving C₁ feedstocks: new high-activity Zn (II)-based catalysts for the alternating copolymerization of carbon dioxide and epoxides. *J. Am. Chem. Soc.*, 120, 11018 – 11019.

- Clark, J.H. (1999). Green chemistry: challenges and opportunities. *Green Chem.*, 1(1), 1 – 8.
- Daly, H. (1996). *Beyond growth: the economics of sustainable development*. Boston: Beacon Press.
- De Haan, G. (2010). *The midway point of the in decade of education for sustainable development: where do we stand*. Paris: UNESCO.
- Doxsee, K.M. & Hutchison, J.E. (2004). *Green organic chemistry: strategies, tools, and laboratory experiments*. Southbank: Thomson-Brooks/Cole.
- Eilks, I. (2002). Teaching ‘biodiesel’: a sociocritical and problemoriented approach to chemistry teaching, and students’ first views on it. *Chem. Educ. Res. & Practice*, 3(1), 77 – 85.
- Eilks, I. & Rauch, F. (2012). Sustainable development and green chemistry in chemistry education. *Chem. Educ. Res. & Practice*, 13(2), 57 – 58.
- Ehrenfeld, J.R. (2009). *Sustainability by design: a subversive strategy for transforming our consumer culture*. New Haven: Yale University Press.
- Feierabend, T. & Eilks, I. (2011). Teaching the societal dimension of chemistry using a socio-critical and problem-oriented lesson plan on bioethanol usage. *J. Chem. Educ.*, 88, 1250 – 1256.
- Gendjova, A. (2007). Enhancing students’ interest in chemistry by home experiments. *J. Baltic Sci. Educ.*, 6(3), 5 – 15.
- Gendjova, A. (2014). Some strategies for motivation students to learn chemistry. *Chemistry*, 23, 53 – 72.
- Groth, T., Joentgen, W., Wagner, P., Dobert, F., Wenderoth, E. & Roick, T. (2000). Preparation and use of iminodisuccinic acid salts. *U.S. Patent 6,107,518*.
- Hill, J., Kumar, D.D. & Verma, R.K. (2013). Challenges for chemical education: engaging with green chemistry and environmental sustainability. *Chemist*, 86, 24 – 31.
- Ho, N.W.Y., Chen, Z., Brainard, A.P. & Sedlak, M. (2000). Genetically engineered saccharomyces yeasts for conversion of cellulosic biomass to environmentally friendly transportation fuel ethanol (pp. 143 – 159). In: Anastas, P.T., Heine, L.G. & Williamson, T.C. (Eds.). *Green chemical syntheses and processes*. Washington: ACS.
- Hoelderich, W.F. (2000). ‘One-pot’ reactions: a contribution to environmental protection. *Appl. Catalysis A*, 194, 487– 496.
- Hofstein, A. & Mamlok-Naaman, R. (2007). The laboratory in science education: the state of the art. *Chem. Educ. Res. & Practice*, 8(2), 105 – 107.
- Karpudewan, M., Ismail, Z.H. & Mohamed, N. (2009). The integration of green chemistry experiments with sustainable development concepts in

- pre-service teachers' curriculum: experiences from Malaysia. *Int. J. Sust. Higher Educ.*, 10(2), 118 – 135.
- Karpudewan, M., Ismail, Z. & Roth, W. M. (2012). Ensuring sustainability of tomorrow through green chemistry integrated with sustainable development concepts (SDCs). *Chem. Educ. Res. & Practice*, 13(2), 120 – 127.
- Kerton, F. & Marriott, R. (2013). *Alternative solvents for green chemistry*. London: RSC.
- Kirkova, E., Radkov, E., Georgiev, G. & Atanassova, I. (1994). *Demonstracii po neorganichna khimiya*. Sofia: University of Sofia Press [in Bulgarian].
- Klingshirn, M.A. & Spessard, G.O. (2009). Integrating green chemistry into the introductory chemistry curriculum. *Green Chem. Educ.*, 5, 79 – 92.
- Kolopajlo, L. (2017). Green chemistry pedagogy. *Phys. Sci. Rev.*, 2(2), art. no. 20160076.
- Lancaster, M. (2002). *Green chemistry: an introductory text*. Cambridge: RSC.
- Lennon, D., Freer, A.A., Winfield, J.M., Landon, P. & Reid, N. (2002). An undergraduate teaching initiative to demonstrate the complexity and range of issues typically encountered in modern industrial chemistry. *Green Chem.*, 4(3), 181 – 187.
- Levy, I.J. Haack, J.A., Hutchison, J.E. & Kirchhoff, M.M. (2005). Going green: lecture assignments and laboratory experiences for the college curriculum. *J. Chem. Educ.*, 82, 974 – 977.
- Li, C.-J. (2000). Water as solvent for organic and material synthesis. *Green Chem. Synth. & Processes*, 6, 62 – 73.
- Malcheva, Z., Genkova, L. & Naydenova, V. (2000). *Metodika i tehknika na uchebnia khimichen eksperiment*. Blagoevgrad: University of Blagoevgrad Press [in Bulgarian].
- Mandler, D., Mamlok-Naaman, R., Blonder, R., Yayon, M. & Hofstein, A. (2012). Highschool chemistry teaching through environmentally oriented curricula. *Chem. Educ. Res. & Practice*, 13(2), 80 – 92.
- Manzer, L.E. (1994). Chemistry and catalysis: key to environmentally safer processes (pp. 144-184). In: Anastas, P.T. & Farris, C.A. (Eds.). *Benign by design: alternative synthetic design for pollution prevention*. Washington: ACS.
- Marks, R. & Eilks, I. (2009). Promoting scientific literacy using a sociocritical and problem-oriented approach to chemistry teaching: concept, examples, experiences. *Int. J. Sci. Environ. Educ.*, 4, 231 – 245.
- Marks, R. & Eilks, I. (2010). Research-based development of a lesson plan on shower gels and musk fragrances following a socio-critical and problem-oriented approach to chemistry teaching. *Chem. Educ. Res. & Practice*, 11(2), 129 – 141.

- Marques, C.A. & Machado, A.A. (2014). Environmental sustainability: implications and limitations to green chemistry. *Found. Chem.*, 16, 125 – 147.
- Marteel-Parrish, A.E. (2014). Teaching green and sustainable chemistry: a revised one- semester course based on inspirations and challenges. *J. Chem. Educ.*, 91, 1084 – 1086.
- Millar, R. (2004). The role of practical work in the teaching and learning of science. *High School Science Laboratories: Role & Vision*, pp. 1 – 24.
- Osborne, J. & Collins, S. (2001). Pupils' views of the role and value of the science curriculum: a focus-group study. *Int. J. Sci. Educ.*, 23, 441 – 467.
- Pilot, A. & Bulte, A.M.W. (2006). Context based chemistry education. *Int. J. Sci. Educ.*, 28, 953 – 1112.
- Rauch, F. (2002). The potential of education for sustainable development for reform in schools. *Environ. Educ. Res.*, 8(1), 43 – 52.
- Ravichandran, S. (2011). Implementation of green chemistry principles into practice. *Int. J. Chem. Tech. Res.*, 3, 1046 – 1049.
- Sato, K., Aoki, M. & Nayori, R. (1998). A “green” route to adipic acid: direct oxidation of cyclohexenes with 30 percent hydrogen peroxide. *Science*, 281(5383), 1646 – 1647.
- Shallcross, T., Robinson, J., Pace, P. & Wals, A. (2006). *Creating sustainable environments in our schools*. Trentham: Trentham Books.
- Shaker, R.R. (2015). The spatial distribution of development in Europe and its underlying sustainability correlations. *Appl. Geography*, 63, 304 – 314.
- Sheldon, R.A. (2012). Fundamentals of green chemistry: efficiency in reaction design. *Chem. Soc. Rev.*, 41, 1437 – 1451.
- Sheldon, R.A. (2016). Green chemistry and resource efficiency: towards a green economy. *Green Chem.*, 18, 3180 – 3183.
- Singh, M.M., Szafran, Z. & Pike, R.M. (1999). Microscale chemistry and green chemistry: complementary pedagogies. *J. Chem. Educ.*, 76, 1684 – 1687.
- Song, J. & Han, B. (2015). Green chemistry: a tool for the sustainable development of the chemical industry. *Nat. Sci. Rev.*, 2, 255 – 256.
- Tanaka, K. & Kaupp, G. (2003). *Solvent-free organic synthesis*. New York: Wiley.
- Tundo, P., Anastas, P., Black, D.S.C. Breen, J., Collins, T.J., Memoli, S., Miyamoto, J. Polyskoff, M. & Tumas, W. (2000). Synthetic pathways and processes in green chemistry: introductory overview. *Pure & Appl. Chem.*, 72, 1207 – 1228.
- Ware, S.A. (2001). Teaching chemistry from a societal perspective. *Pure Appl. Chem.*, 73, 1209 – 1214.
- WCED – World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*. Oxford: Oxford University Press.

Wool, R., Kusefoglu, S., Palmese, G., Khot, S. & Zhao, R. (2000). High modulus polymers and composites from plant oils. *U.S. Patent No: 6121398*.

GREEN CHEMISTRY IN THE SCHOOL LABORATORY

Abstract. Despite the great contribution of chemistry, its negative image in society is a serious problem. Green Chemistry (or Sustainable Chemistry) addresses the efficient use of raw materials and waste management and issues related to health, safety and the environment. It offers the opportunity to put ideas of sustainability into school practice. This paper examines the effect of the application of green chemistry in laboratory activities on the study of chemical processes for students in grade 10. For this aim “green” alternatives of traditional experiments on the subject are selected and adapted. The quality and applicability of the experiments and didactic materials are validated through an expert evaluation of 16 teachers. After implementing some of the experiments into the laboratory practices of 70 tenth graders, a survey was conducted with them. The surveyed students gave a high rating to the green attempts: in terms of their: safety, economy, related to everyday life, accessibility, attractiveness. Experimental activities of students lead to their engagement in chemistry classes and Chemistry becomes more interesting, more comprehensible and more accessible to them. The emphasis on green chemistry in laboratory work contributes to the development of environmental awareness and behavior. The attitude of the students towards the subject is improved because they see science in a new, better perspective, as friendly to the environment. It is an effective method of motivating students to study chemistry and influencing their attitudes and emotions towards sustainability and environmental issues.

✉ **Dr. Alexandria Gendjova, Dr. Alexandra Kamusheva**

Research Laboratory on Chemistry Education and History and Philosophy of Chemistry
University of Sofia
1, James Bourchier Blvd.
1164 Sofia, Bulgaria
E-mail: agendjova@mbox.chem.uni-sofia.bg
E-mail: alexa_nia@abv.bg

✉ **Ms. Maya Tavlinova-Kirilova**

Institute of Organic Chemistry with Centre of Phytochemistry
Bulgarian Academy of Sciences
Bl. 9, Acad. G. Bonchev St.
1113 Sofia, Bulgaria.
E-mail: maya@orgchm.bas.bg