



Sveučilište u Zagrebu

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

Kemijski odsjek

Matea Grabovac

**Triptaminske soli s halogeniranim karboksilnim kiselinama
Novi i stari osnovnoškolski nastavni program iz kemije**

Diplomski rad

predložen Kemijskom odsjeku

Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

radi stjecanja akademskog zvanja

magistre edukacije kemije

Zagreb, 2021.

Ovaj diplomski rad izrađen je u Zavodu za opću i anorgansku kemiju pod mentorstvom izv.
prof. dr. sc. Nenada Judaša.

ZAHVALA

Hvala mojim roditeljima i bratu za neizmjereno razumijevanje i podršku tijekom cijelog školovanja.

Hvala svim mojim prijateljima na pruženoj potpori.

Hvala mentoru izv. prof. dr. sc. Nenadu Judašu na pomoći prilikom izrade diplomskog rada, brojnim udijeljenim savjetima i iznimnom strpljenju.

Sadržaj

1. ISTRAŽIVAČKI DIO	1
1.1. UVOD	2
1.2. LITERATURNI PREGLED	3
1.2.1. Supramolekulska kemija	3
1.2.2. Međumolekulske interakcije	4
1.2.3. Kemijsko inženjerstvo	7
1.2.4. Triptamin i njegovi derivati	7
1.2.4.1. Zašto je važno proučavati triptaminske derivate?	8
1.2.5. Identifikacija triptamina	9
1.2.5.1. Karakteristične IR apsorpcijske vrpce triptamina	11
1.2.5.2. NH IR apsorpcijske vrpce	11
1.2.5.3. Ostale karakteristične IR apsorpcijske vrpce triptamina	11
1.2.5.4. IR vibracijske vrpce benzenskih supstituenata	12
1.2.6. Priprava triptaminskih soli	12
1.3. EKSPERIMENTALNI DIO	15
1.3.1. Opis polaznog materijala	15
1.3.2. Priprava kristalizacijskih otopina i opis dobivenih produkata	15
1.3.3. IR spektroskopija i NMR spektroskopija u čvrstom stanju	16
1.4. REZULTATI I RASPRAVA	17
1.4.1. Karakteristike ATR IR spektra triptamina i triptaminijevog hidroklorida	17
1.4.2. Karakteristike ATR IR spektra polaznih kiselina i adicijskih produkata	18
1.4.3. Karakteristike ¹⁵ N NMR spektra polaznih kiselina i adicijskih produkata	18
1.5. ZAKLJUČAK ISTRAŽIVAČKOG DIJELA	20
2. METODIČKI DIO	22
2.1. STARI I NOVI NASTAVNI PROGRAM KEMIJE	23
2.1.1. Općenito o starom osnovnoškolskom preogramu	23
2.1.2. Općenito o starom osnovnoškolskom programu iz kemije	23
2.1.3. Osnovnoškolski nastavni program kemije za 7. razred prema HNOS-u	24
2.1.4. Stari osnovnoškolski nastavni program kemije za 8. razred	26
2.1.5. Zaključne crtice o osnovnoškolskom nastavnom programu prema HNOS-u	27
2.1.6. Općenito o novom osnovnoškolskom nastavnom programu	28
2.1.7. Prirodoslovno područje kurikuluma	30
2.1.8. Općenito o novom osnovnoškolskom nastavnom programu kemije	31
2.1.9. Odgojno-obrazovni ishodi u sedmom razredu osnovne škole	33
2.1.10. Odgojno-obrazovni ishodi u osmom razredu osnovne škole	34
2.1.11. Prednosti i mane novog osnovnoškolskog nastavnog programa kemije	35
2.2. OBJAŠNJENJE NASTAVNOG SATA	36
2.2.1. Korisnost vode	36
2.2.2. Nastavni sat	37
2.2.2.1. Potrebni materijale i metode za izradu nastavnog sata	37

2.3. ZAKLJUČAK METODIČKOG DIJELA.....	40
3. LITERATURNI IZVORI.....	43
4. DODATAK	VII
5. ŽIVOTOPIS	XXVIII



SAŽETAK

**TRIPTAMINSKE SOLI S HALOGENIRANIM KARBOKSILNIM KISELINAMA
NOVI I STARI OSNOVNOŠKOLSKI NASTAVNI PROGRAM IZ KEMIJE**

Matea Grabovac

Cilj je omogućiti predviđanje konformacije triptaminskih tijela u kristalnim fazama produkata njihovih reakcija s karboksilnim kiselinama i odrediti njihovu iskoristivost kao potencijalnih molekula za dizajniranje kristalnih struktura. Dodatno, prepoznati čimbenike koji određuju torzijske kutove C13–C12–C11–N11 i C110–C13–C12–C11. Ciljani produkti pripremljeni su miješanjem metanolnih i metanol-benzenskih otopina triptamina i halogeniranih karboksilnih kiselina (2-klor-5-nitrobenzojeve, 2-klorbenzojeve, 3-klorbenzojeve, 2-brombenzojeve, 4-brombenzojeve, 3-jodbenzojeve, trikloroctene i *mezo*-dibromjantarne kiseline). Dobiveni produkti karakterizirani su ATR i ¹⁵N NMR spektroskopijom. Kemijski pomak atoma dušika uspoređivan je u odnosu na dva referentna ¹⁵N NMR spektra – spektar čistog triptamina i spektar triptaminijevog hidroklorida (za kojeg je pretpostavljeno da je potpuno ionski kristal). Prema dobivenim ATR IR i ¹⁵N NMR spektrima, dobivene produkte nije moguće jednoznačno karakterizirati kao kokristalne produkte ili ionske soli.

U metodičkom dijelu dana je usporedba starog i novog osnovnoškolskog programa kemije te je predložen 90-minutni nastavni sat koji se temelji na strategiji učenja otkrivanjem, a u kojem učenici uče o povezanosti građe sustava na atomsko-molekularnoj razini s makroskopskim svojstvima tvari.

60 (45+15) stranica, 2 slike, 4 tablice, 53 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u Središnjoj kemijskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Horvatovac 102a, Zagreb i Repozitoriju Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Ključne riječi: triptaminske soli, kristalna i molekulska struktura, organske soli, nastava kemije, učenje otkrivanjem

Mentor istraživačkog i metodičkog dijela: izv. prof. dr. sc. Nenad Judaš, KO PMF SuZ

Ocjenitelji:

- | | |
|---|--------------|
| 1. izv. prof. dr. sc. Nenad Judaš | (KO PMF SuZ) |
| 2. izv. prof. dr. sc. Iva Juranović Cindrić | (KO PMF SuZ) |
| 3. doc. dr. sc. Đani Škalamera | (KO PMF SuZ) |

Zamjena: izv. prof. dr. sc. Branimir Bertoša (KO PMF SuZ)

Datum diplomskog ispita: 30. rujna 2021.



ABSTRACT

**TRYPTAMINE SALTS OF HALOGENATED CARBOXYLIC ACIDS
NEW AND OLD SYLLABUSES OF PRIMARY SCHOOL CHEMISTRY**

Matea Grabovac

The goal was to grow data that will enable prediction of conformation of tryptaminic moieties in crystal phases of their adducts with carboxylic acids and determine their potential to be used as tectons in crystal structure design. Additionally, to recognize parameters that influence or determine torsion angles C13–C12–C11–N11 i C110–C13–C12–C11. Adducts were prepared by mixing methanol or benzene-methanol solutions of tryptamine and halogenated acids (2-chloro-5-nitrobenzoic acid, 2-chlorobenzoic acid, 3-chlorobenzoic acid, 2-bromobenzoic acid, 3-bromobenzoic acid, 4-bromobenzoic acid, 3-iodobenzoic acid, 4-iodobenzoic acid, trichloroacetic acid and *mezo*-dibromosuccinic acid). Products were characterized by ATR IR and ¹⁵N NMR spectroscopy. Chemical shift of nitrogen atoms were compared with two references: the chemical shifts of analogous nitrogen atoms in solid pure tryptamine and in solid of tryptaminium hydrochloride. According to measured ATR IR and ¹⁵N NMR spectra it is not possible to unequivocally classify products as cocrystals or salts.

In methodical part a comparison of old and new primary school chemical syllabuses was given together with a 90-minute classroom founded on inquiry learning strategy during which pupils will learn how macroscopic properties of a compound are related to its structure on atomic-molecular level.

60 (45+15) pages, 2 figures, 4 tables, 53 references, original in Croatian

Thesis is deposited in Central Chemical Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac102a, Zagreb, Croatia and in Repository of the Faculty of Science, University of Zagreb.

Keywords: tryptaminium salts, crystal and molecular structure, organic salts, teaching chemistry, guided inquiry learning.

Mentor (research and methodology parts): dr. sc. Nenad Judaš, Associate Professor, FoS UniZg

Reviewers

1. dr. sc. Nenad Judaš, Associate Professor (DC FoS UniZg)
2. dr. sc. Iva Juranović Cindrić, Associate Professor (DC FoS UniZg)
3. dr. sc. Đani Škalamera, Assistant Professor (DC FoS UniZg)

Substitute: dr. sc. Branimir Bertoša, Associate Professor (DC FoS UniZg)

Date of exam: September, 30th 2021

1. ISTRAŽIVAČKI DIO

1.1. UVOD

Posljednjih pedesetak godina kemije obilježeno je razvojem novog područja sintetske i primijenjene kemije – supramolekulskom sintezom. Broj istraživanja u ovom području raste, a pripremljeni materijali primjenjuju se u različitim područjima – od građevinske industrije i industrije materijala do medicinske i farmaceutske industrije. U prvom planu supramolekulske sinteze svojstva su ciljanih materijala, a ona su određena svojstvima građevnih jedinica koje ih izgrađuju. Cilj supramolekulske sinteze su molekulske nakupine koje nastaju molekulskim samoudruživanjem, a ne njihove podjedinice. Živi svijet savršen je primjer učinkovitosti molekulskog samoudruživanja – uzvojita struktura nukleinskih kiselina posljedica je finih *intramolekulskih* i *intermolekulskih* interakcija.^[1,2]

Mala promjena u kristalnoj strukturi supramolekulske građevine često dovodi do promjene jednog ili više fizikanih ili kemijskih svojstava tvari. Kontrolirano oblikovanje komponenti kojima će kasnije biti sintetiziran željeni materijal, posljedično omogućuje dizajniranje njegovih svojstava.

Ovaj diplomski rad predstavlja mali doprinos istraživanju supramolekulskih karakteristika molekula triptamina, tj. triptaminskih kationa kao molekula s nekoliko torzijskih stupnjeva slobode, što omogućuje njihovu konformacijsku izomerizaciju. Ovisno o vrsti međumolekulskih interakcija molekula triptamina (ili njihovog kationskog oblika), nekoliko je različitih konformacija koje se pojavljuju u *in vivo* ili *in vitro* sustavima ili u krutom stanju. Istraživanja strukture i načina djelovanja molekula triptamina i njihovih derivata te triptaminskih kationa pomaže razumijevanju njihove uloge u biološkim sustavima. Tvoreći donorsko-akceptorske komplekse ove molekule omogućuju bitne biološke procese – npr. povezivanje supstrata i enzima, interakcije indola s nukleotidima i nukleinskim kiselinama ili vezivanje serotonina i halucinogenog triptamina na receptorsko mjesto.^[3]

Glavni cilj istraživačkog dijela ovog diplomskog rada bio je priređivanje nekoliko triptaminskih soli ili kokristala s halogeniranim kiselinama te utvrđivanje njihove kristalčnosti i vrste na temelju IR spektroskopskih karakteristika i ¹⁵N NMR analize.

1.2. LITERATURNI PREGLED

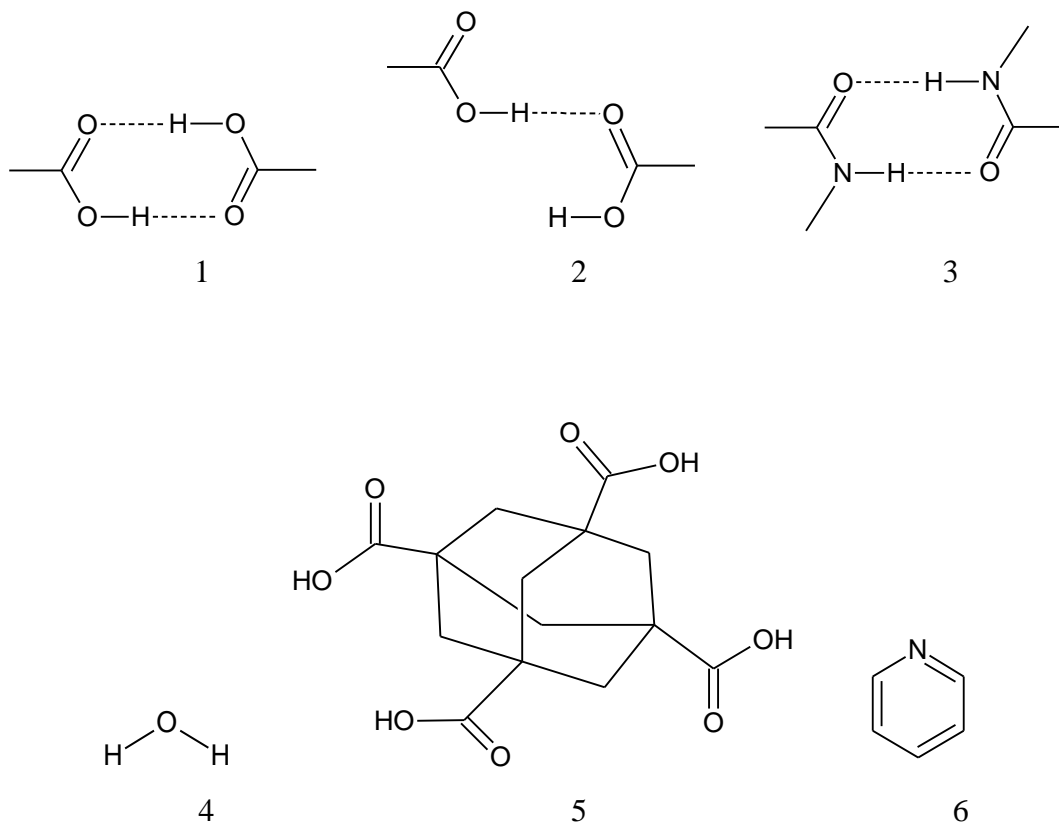
1.2.1. Supramolekulska kemija

Supramolekulska kemija je popularno područje koje se u zadnjih nekoliko desetljeća značajno razvilo. To je interdisciplinarno područje znanosti jer se bavi kemijskim, biološkim i fizikalnim svojstvima tvari čije su građevne jedinice povezane slabim međumolekulskim interakcijama. Supramolekulska kemija se razvila iz sintetskih postupaka organske kemije, zatim razumijevanja prirodne izgradnje raznih receptora, iz koordinacijske kemije i metal-ion-ligand interakcija, fizikalne kemije te eksperimentalnih i teorijskih istraživanja interakcija biokemijskih i bioloških procesa koji se temelje na prepoznavanju i vezanju supstrata.^[4]

Sam početak supramolekulske kemije kao samostalnog područja istraživanja je teško odrediti. Iako su već otprije bili poznati supramolekulski sustavi, kao što su kristali klorovog hidrata koje je izolirao Humphry Davy 1806. godine, većina znanstvenika smatra kako prava supramolekulska kemija započinje 1894. godine kada je Emil Fischer objasnio visokospecifičnost supstrata prema enzimu. Sredinom prošlog stoljeća, došlo je do značajnijeg razvoja supramolekulske kemije zahvaljujući znanstvenicima poput Jean-Marie Lehna, Jurija Anatolijeviča Ovčnikovog i Charlesa Johna Pedersena.^[5]

Elias James Corey je, baveći se supramolekulskom sintezom, uveo pojam sintona kao ponavljajućeg međumolekulskog motiva unutar kristalne strukture kojeg se može prirediti poznatim i provedivim postupcima.^[6] Cilj kristalnog inženjerstva je prepoznati i dizajnirati sintone koji su dovoljno postojani da mogu opstati tijekom izgradnje nove (kristalne) strukture čime se osigurava općenitost i predvidivost sintetskog postupka. Osim sintona, u kristalnom inženjerstvu je važan i pojam supramolekulskog tektona – molekule s velikom tendencijom sudjelovanja u jakim međumolekulskim interakcijama.^[7] Za te molekule se kaže da imaju „ljepljive” krajeve (u stranoj literaturi može ih se pronaći pod nazivom *sticky molecules*). Njihovim povezivanjem supramolekulskim sintonima moguće je sintetizirati supramolekulske agregate specifične strukture. Termini *supramolekulski tekton* i *supramolekulski sinton* izvedeni su po uzoru na retrosintetsku analizu, a razlika između ta dva pristupa je jedino u vrsti interakcije (veze) koja se pritom ostvaruje. Do pojedinih sintona i tektona može se doći analizom kristalnih struktura i prepoznavanjem specifičnih interakcija između susjednih jedinica kojima se pokušava objasniti njihova postojanost i uporabna ponovljivost. Ako je poznato da se dvije funkcijske skupine često međusobno povezuju u kristalnoj strukturi, supramolekulski

sintetičar pokušat će ih iskoristiti pri sintezi drugih strukturnih okruženja očekujući da će ti sintoni ponovno nastati.^[6,7]



Slika 1. Prikaz nekih supramolekulskih sintona (1, 2, 3) i tektona (4, 5, 6).

1.2.2. Međumolekulske interakcije

Dobivanje supramolekulskih sustava određenih svojstava postiže se kontroliranom uporabom međumolekulskih interakcija. Te interakcije određene su strukturom polaznih molekula te imaju glavnu ulogu u njihovom međusobnom „prepoznavanju i organiziranju” (eng. *self-assembly*) u složenije strukture. Svojstva međumolekulskih interakcija koja su važna za kristalno inženjerstvo su jakost i usmjerenost.^[8] Većina međumolekulskih interakcija slaba je u usporedbi s kovalentnom vezom. Energija jednostruke kovalentne veze u rasponu je od 150 do 450 kJ mol⁻¹, dok su energije međumolekulskih interakcija u rasponu od 2 do 300 kJ mol⁻¹ što je prikazano u tablici 1 (str. 5).

Međumolekulske interakcije možemo podijeliti na izotropne i anizotropne. Izotropne interakcije nemaju određeno usmjerenje, djeluju među svim građevnim jedinkama te su

odbojnog ili privlačnog karaktera. Anizotropne interakcije imaju specifičnu prostornu usmjerenost te određuju međusobnu orijentaciju molekula i njihovo *samoprepoznavanje* i *samopovezivanje*. Tipični primjeri jačih anizotropnih interakcija su vodikove i halogenske veze koje su ujedno i najčešće primjenjivane u kristalnom inženjerstvu. Stoga je na njih i usmjeren ovaj rad.

Tablica 1. Vrste međumolekulskih interakcija s pripadajućim molnim energijama.

Interakcije	Energija / kJ mol ⁻¹
ion-ion	200 – 300
ion-dipol	50 – 200
halogenske veze	5 – 180
vodikove veze	4 – 120
kation- π	5 – 80
dipol-dipol	5 – 50
π - π	0 – 50
ostale van der Waalsove sile	< 5

Vodikova veza je posebna vrsta dipol-dipol interakcije između dvije molekule ili između dva dijela iste molekule, a uspostavlja se preko vodikovog atoma koji je vezan na atom donora, **D**. Dio molekule u kojem je povećana elektronska gustoća (koji sadrži nevezni elektronski par) nazivamo akceptorom vodikove veze, **A**. Vodikova veza općenito prikazujemo:



Za tri atoma koji čine vodikovu vezu može se načelno smatrati da tvore neki kut (iako je ponekad teško odrediti položaj vodikovog atoma). Vodikova veza najjača je pri kutu od 180° i slabi njegovim smanjenjem, a općenito se prihvaća da kut $\angle(DHA)$ može odstupati do 30° od linearnosti. Prosječna energija vodikove veze je oko 40 kJ mol⁻¹ što je poprilično velika vrijednost za dipol-dipol interakciju. Iz tog razloga vodikove veze imaju snažan utjecaj na strukturu i svojstva mnogih tvari.^[9]

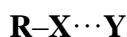
Jakost vodikove veze ovisi o elektronegativnostima atoma donora i akceptora, o duljini same veze i valentnom kutu $\angle(DHA)$. Manja veličina atoma donora, poput atoma dušika, kisika i fluora, iznimno je važna čimbenik za nastajanje vodikove veze, jer su takvi atomi vrlo

elektronegativni pa na njih kovalentno vezani atomi vodika postaju induktivno prilično elektropozitivni – stoga jača interakcija s akceptorskim mjestom. Vodikove veze pojavljuju se i kod većih atoma poput fosfora, sumpora, klora, broma i joda, ali su slabije u odnosu na spomenute atome donore.^[10] Što je duljina vodikove veze manja, to je ona jača, tj. duljina veze treba biti manja od zbroja van der Waalsovih radijusa atoma donora i akceptora.

Osim vodikovih veza za supramolekulska kemiju, ali i za ovaj rad, od velikog su značaja i halogenske veze. U spojevima u kojima kovalentna veza uključuje halogeni atom gotovo uvijek postoji područje veće elektronske gustoće. U tom je području elektrostatski potencijal negativan i tvori pojas okomit na kovalentnu vezu. Područje manje elektronske gustoće, tzv. σ -rupa, s pozitivnim elektrostatskim potencijalom (kod većih atoma halogenih elemenata) tvori udubljenje siromašno elektronskom gustoćom koje se nalazi u produžetku kovalentne veze. To područje ima pozitivan električni potencijal te će se privlačiti s onim dijelovima molekula susjeda koja su bogata elektronima. Općenita sposobnost halogenih atoma da tvore privlačne interakcije s elektron-donorima, tj. nukleofilima je u potpunosti priznata i shvaćena tek unazad nekoliko godina.^[11]

Međunarodna unija za čistu i primijenjenu kemiju, IUPAC, je 2009. godine započela projekt s ciljem klasificiranja i opsežnog pregleda međumolekulskih interakcija koje uključuju atome halogenih elemenata kao elektrofilne vrste. Nakon nekoliko godina projekt je završen te je za te interakcije predložen halogenske veze. Prema toj definiciji, halogenska veza nastaje pri nastajanju mreže privlačnih interakcija između elektrofilnog područja s halogenim atomom u srži molekule i nukleofilnog područja unutar iste ili druge molekule.¹⁵

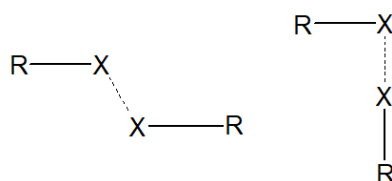
Halogensku vezu općenito prikazujemo kao:



gdje je \mathbf{R} = atom ugljika, halogeni atom, atom dušika, ... , \mathbf{X} = F, Cl, Br, I, a \mathbf{Y} = N, O, S, Se, \mathbf{F}^- , \mathbf{Cl}^- , \mathbf{Br}^- , \mathbf{I}^- ...

U slučaju kada su halogeni atomi vezani na atome ugljika, veza $\mathbf{R-X\cdots X-R}$ se ostvaruje na dva različita načina koje su Gautam Radhakrishna Desiraju i Rajarathinam Parthasarathy nazvali tipom I i tipom II.^[12]

Tip I podrazumijeva simetričnu interakciju pri kojoj je kut $\angle(\mathbf{RXX})$ jednak kutu $\angle(\mathbf{XXR})$, dok je tip II interakcija u kojoj je kut $\angle(\mathbf{RXX})$ približno 180° , a kut $\angle(\mathbf{XXR})$ približno 90° što je prikazano na slici 2. U ovoj klasifikaciji halogenske veze tipa I podijeljene su prema *trans* i *cis* sustavu.^[13]



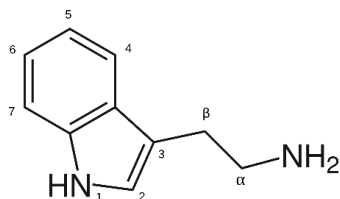
Slika 2. Prikaz halogenske veze tipa I (lijevo) i tipa II (desno).

1.2.3. Kemijsko inženjerstvo

Kemijsko inženjerstvo je dizajniranje molekulskih krutina odnosno sinteza čvrstih molekulskih agregata iz neutralnih ili ionskih gradivnih blokova uporabom međumolekulskih interakcija. Pri tome vodikove veze, halogenske veze te koordinacijske veze, ali i druge manje usmjerene interakcije, određuju strukturne karakteristike. Kristalno inženjerstvo sastoji se od tri različita dijela koje čine cjelinu. Prvi dio je proučavanje međumolekulskih interakcija, drugi je proučavanje načina slaganja (pakiranja) gradivnih jedinki dok je treći dio proučavanje svojstava dobivenih kristala.^[10] Glavni cilj kristalnog inženjerstva je ciljana priprema čvrstih materijala unaprijed određenih željenih struktura i svojstava. Da bi se cilj mogao i ostvariti potrebno je identificirati i okarakterizirati specifične veze u supramolekuli između zadanih funkcijskih skupina. Većina supramolekulskih sintona temelji se na vodikovoj i halogenskoj vezi pa se kao važno pitanje kristalnog inženjerstva može izdvojiti što preciznije predviđanje prijenosa protona, a time i supramolekulskog ponašanja unutar zadanih kiselinsko-baznih sustava.^[14] U današnje vrijeme kristalnom inženjerstvu postali su zanimljivi i halucinogeni spojevi poput triptamina i njegovih derivata.^[15]

1.2.4. Triptamin i njegovi derivati

Triptamin je prirodni spoj, a nastaje dekarboksilacijom aminokiseline triptofana. Ubraja se u skupinu monoaminskih alkaloida. Njegovo molekulsko tijelo čine dva sraštena prstena (benzenski i pirolski) koje kao cjelinu nazivamo indolni prsten, a na njega je vezan bočni lanca koji se sastoji od dva ugljikova atoma na čijem se kraju nalazi amino skupina (Slika 1.).



Slika 1. Strukturni prikaz molekule triptamina s uobičajnim redoslijedom označavanja atoma

Iz molekule triptamina kemijskim modifikacijama mogu se proizvesti novi spojevi koji mogu imati triptaminu vrlo slična, ali i ponekad potpuno nova svojstva. Tako supstitucijom ili alkilacijom mogu nastati novi neuroaktivni spojevi željenih svojstava. Jedan od sintetskih putova prema takvim molekulama je alkilacija atoma dušika koji se nalazi na bočnom lancu. Supstitucijom ili alkilacijom mogu nastati i otrovne tvari, ali i lijekovi.^[16] Za mnoge derivate triptamina karakteristično je da izazivaju promjenu stanja svijesti. Zanimljivo je da se ljudska zajednica od antičkih vremena koristila prirodnim derivatima triptaminima i srodnim spojevima upravo zbog njihovih psihoaktivnih karakteristika. Iste su se već tada koristile i u vjerske, ali i u rekreativne svrhe. U današnje vrijeme njihova uporaba je strogo regulirana, odnosno, te tvari nisu dozvoljene za konzumaciju.^[17]

Najpoznatiji derivati triptamina su: serotonin, melatonin, psilocibin i dimetiltriptamin. Serotonin je jedan od najvažnijih signalnih hormona u ljudskog tijelu, uključen je u regulaciju nekoliko ključnih procesa u središnjem živčanom sustavu poput memorije, regulacije temperature, spavanja i ponašanja. Svi spomenuti spojevi poznati su po karakterističnim halucinogenim svojstvima. Halucinogene tvari su psihoaktivne tvari koje snažno mijenjaju percepciju, raspoloženje i kognitivne procese. Fiziološki su sigurne te se ne povezuju s razvijanjem ovisnosti. Može ih se upotrebljavati prilikom liječenja ovisnosti poput alkoholizma ili pri liječenju ovisnosti od opojnih droga. Isto tako smatraju se važnima pri liječenju određenih psihijatrijskih poremećaja.^[18] Osim pozitivnih posljedica, konzumiranje derivata triptamina ima i one negativne. Za triptaminske derivate se općenito smatra da ne uzrokuju nuspojave koje bi mogle biti opasne po život. Same konkretne nuspojave ovise o uzetoj dozi.^[19] Neke od najčešćih nuspojava, koje se povezuje s konzumiranjem derivata triptamina, su: mučnina, povraćanje, nemir, strah, paranoja, anksioznost, pojačano lupanje srca, poremećaji vida, problemi s disanjem.^[20]

Osim navedenog, triptamin može djelovati i kao neurotransmitor,^[21] a triptamin i njegovi derivati inhibiraju ponovni unos i povećavaju oslobađanje serotonina.^[22] Kojom brzinom će se događati sinteza triptamina u mozgu ovisi o koncentraciji triptofana. Triptamin može modificirati učinke 5HT u središnjem živčanom sustavu. Također se javlja i kao endogeni sastojak mozga sisavaca u vrlo malim koncentracijama.^[23]

1.2.4.1. Zašto je važno proučavati triptaminske derivate?

Proučavanjem derivata triptamina, pogotovo odgovarajućim supstituentima 2-supstituiranih triptamina, može se dobiti uvid u vezanja triptamina s 5-HT₆ agonistima i antagonistima koje

se ubraja u skupinu G-proteina povezanih s lijekovima za liječenje anksioznosti i poremećaje pamćenja.^[24] Osim toga, 5-HT₆ reagensi povezuju se i s motoričkim funkcijama, ali i s ranim stupnjem razvoja serotonina, biogenog amina koji je najpoznatiji po svojoj ulozi neurotransmitora.^[25]

1.2.5. Identifikacija triptamina

Brojne halucinogene supstance mogu se pronaći i kupiti putem interneta pri čemu se iste deklariraju kao „istraživačka kemijska tvar“ ili pak „biljna hrana“.^[26] Novi sintetički *dizajnirani* lijekovi sa stimulativnim i halucinogenim svojstvima postaju sve popularniji, a kako se korištene tvari često mijenjaju kao odgovor na tržišne trendove, ali i zakonodavne regulative, važno je da centri za otrove i toksikološki centri budu u tijeku s novim farmakološkim i toksikološkim učincima dizajnerskih lijekova.^[19] Izraz *dizajnerski lijekovi* podrazumijeva sintetski promijenjene prirodne tvari ili novo dizajnirane molekulske strukture koje imaju psihotropne učinke.^[27] Već i mala strukturna promjena uobičajenih lijekova dovoljna je da se zaobiđe zakonska kontrola. Sinteza novih derivata predstavlja stalnu poteškoću za analitičke toksikologe, jer većinu ovih novih *lijekova* nije moguće detektirati standardnim analitičkim metodama. Postoji stalna potreba za prilagodbom poznatih analitički metoda ili razvojem novih analitičkih metoda koji bi služili za otkrivanje novih spojeva.^[28] Halucinogeni lijekovi uzrokuju kod ljudi promjene u osjetilnoj percepciji, raspoloženju i razmišljanjima.

Indolamini, u koje se ubraja i triptamin, mogu se općenito svrstati u dvije glavne skupine: jednostavni triptamini (koji se dalje dijele prema mjestu modifikacije) i ergolini, poput LSD-a. Glavna strukturna značajka koja daje halucinogena svojstva triptaminu i njegovima analogima je indolna jezgra. Sintetički načini za dobivanje ovih spojeva su relativno jednostavni, a dostupni su na internetu pružajući tako svima jednostavan pristup sintezi halucinogenih spojeva. Dostupni podaci sugeriraju da svi triptaminski analozi nemaju zajednički metabolički put te da on ovisi o prirodi i položaju supstituenata u molekulama. Iako su halucinogeni, smatra ih se fiziološki sigurnim molekulama. Ipak, halucinogeni učinci triptamina mogu promijeniti percepciju i uzrokovati poremećaje u ponašanju koji mogu rezultirati po život opasnim situacijama.^[29] S obzirom na sve navedeno ne čudi potreba za što preciznijom, detaljnijom i bržom identifikacijom psihoaktivnih supstanci. Pokušavaju se razviti što jednostavnije i nedvosmislene metode identifikacije triptamina i njegovih derivata. Kad se rade ispitivanja uzoraka ilegalnog podrijetla potrebno je imati dostupne referentne spektre i unaprijed utvrditi

čimbenike koji bi mogli utjecati na obnovljivost spektra.^[30] Veliki problem je nedostatak primarne literature koja se odnosi na kemiju triptamina i njegovih derivata, farmakologiju i toksikologiju koja otežava procjenu njihove štetnosti.^[22]

Triptamin i njegovi derivati ne mogu se identificirati uobičajenim toksikološkim testovima. Da bi ih se detektiralo potrebna je opsežna laboratorijska analiza koja se mora odlikovati velikom selektivnošću i osjetljivošću.^[20] Zbog sve veće ilegalne proizvodnje triptamina i njegovih derivata potrebne su detaljnije informacije o karakterističnim fragmentima koji su sadržani u njihovoj strukturi.^[16] S obzirom na sve veću dostupnost potrebno je i osmisliti nove testove pomoću kojih bi se mogli identificirati. Iako nisu dostupni specifični testovi za identifikaciju triptamina, razvijena je metoda probira koja se temelji na plinskoj kromatografiji u kombinaciji s masenom spektrometrijom te tekućinskoj kromatografiji u kombinaciji s masenom spektrometrijom^[31] ili se pak koristi infracrvena spektroskopija^[20] koja je pak najčešće korištena metoda^[30].

Prilikom identifikacije nepoznatih spojeva pomoću infracrvene spektroskopije otežavajući čimbenik može biti polimorfija^[30] Polimorfija je pojava kada jedna tvar kristalizira u više različitih kristalnih struktura. Polimorfi imaju isti sastav, ali zbog različite kristalne strukture imaju različita svojstva.^[32] Polimorfija se često javlja kod složenih spojeva posebno kod onih molekula koje mogu tvoriti vodikove ili halogenske veze. Načelno, polimorfi daju različite infracrvene spektre, ali te razlike uvelike ovisi o tome koliko su različite kristalne njihove strukture.^[33]

Osim navedenih ističu se i analitičke metode poput tankoslojne kromatografije, spektrofluorometrije^[34] ili MALDI.^[16] Osim navedenih standardnih analitičkih metoda ističe se i metoda mikrokristalnih testova.^{[34](Genest)} Metode se uspješno primjenjuju na uzorcima krvi i urina u slučaju sumnje na prisutnost triptamina.^{[31](Vorce)} Daljnjim istraživanjima utvrđeno je kako bi se primjenjivost pristupa mogla održati u hitnoj toksikologiji.^[35] Da bi se identificirao nepoznati spoj najčešće je potrebno kombinirati nekoliko analitičkih metoda. Tako je primjerice masena spektroskopija pogodna za određivanje malih spojeva dok tankoslojna kromatografija pomaže pri razlikovanju srodnih spojeva pod uvjetom da je spoj prethodno ispitan. Za identifikaciju nepoznatih spojeva najčešće se koristi infracrvena spektroskopija. Pomoću nje u svakom spektru dobijemo područje „otisak prsta“ za nepoznatu tvar koje se potom može uspoređivati s referentnim podacima, ali isto tako daje i podatke o funkcijskim skupinama prisutnim u nepoznatom spoju. Može se koristiti i za ispitivanje slobodnih baza i njihovih soli u

tekućinama, otopinama ili krutinama. Infracrvena spektroskopija se posebno ističe baš pri identifikaciji halucinogenih lijekova.

1.2.5.1. Karakteristične IR apsorpcijske vrpce triptamina

Molekule triptamina može se prepoznati po karakterističnim apsorpcijskim (ili transmisijskim) vibracijskim vrpcama indolne skupine i amino skupine.^[36]

Jednostavni spojevi, kod kojih nema supstituenata na benzenskom dijelu indolnog prstena, u svojim apsorpcijskim spektrima pokazuju jaku vibracijsku vrpcu pri 740 cm^{-1} i često oštru vibracijsku vrpcu u blizini 810 cm^{-1} . Kad se govori o 3-supstituiranim triptaminima oni u svojim apsorpcijskim spektrima pokazuju vibracijsku vrpcu između 810 i 760 cm^{-1} . No, 5-supstituirani triptamini su mnogo manje predvidljivi te ponekad mogu pokazati jednu jaku ili više manjih vibracijskih vrpca u blizini 810 cm^{-1} . Osim navedenog, indolnu jezgru karakterizira i mnoštvo vibracijskih vrpca između 1620 i 1300 cm^{-1} , pri čemu se posebno ističu one između 1400 i 1300 cm^{-1} .

1.2.5.2. NH IR apsorpcijske vrpce

Gotovo sve spektre kristalnih dušikovih baza, ali i nekoliko tekućina, karakterizira široko područje vibracijskih vrpca između 3300 i 2500 cm^{-1} na kojem se može nalaziti čak do petnaest vrlo oštih apsorpcijskih maksimuma koji potječu od N–H istežanja. Ova karakteristika prestaje vrijediti u spektrima razrijeđenih otopina pri čemu se široko područje spektra zamjenjuje jednom oštrom vibracijskom vrpcom pri 3470 cm^{-1} zbog nastanka vodikove veze. Triptaminske baze koje sadrže NH ili NH_2 skupine u svom bočnom lancu pokazuju dvije oštre vibracijske vrpce u blizini 3300 cm^{-1} .

1.2.5.3. Ostale karakteristične IR apsorpcijske vrpce triptamina

U triptaminima koji na svojim prstenovima nemaju supstituente i njihovim solima ističu se vibracijske vrpce pri 1330 , 1225 , 1100 i 1010 cm^{-1} . U 5-supstituiranim triptaminima vibracijske vrpce pri 1330 cm^{-1} i 1100 cm^{-1} prestaju biti istaknute, dok će vibracijska vrpca pri 1225 cm^{-1} često biti zaklonjena drugim vrpcama.

1.2.5.4. IR vibracijske vrpce benzenskih supstituenata

Svi metilni i benzilni eteri imaju istaknutu vibracijsku vrpcu pri 1210 cm^{-1} . Benzilna skupina pokazuje i dodatne vibracijske vrpce u svojim apsorpcijskim spektrima pri 740 i 690 cm^{-1} . Dok odgovarajući fenoli u amorfnim oblicima pokazuju vibracijsku vrpcu pri 1200 cm^{-1} . Kod *N*-alkilnih i *N,N*-dialkilnih triptamina nisu pronađene korelacije koje bi se mogle koristiti za identifikaciju pojedinih spojeva. Jedini alkilni supstituent koji se može identificirati je izopropilna skupina koja pokazuje vibracijsku vrpcu pri 1165 cm^{-1} . Može se zaključiti da su *N*-alkilni supstituenti skupine koje nije lako identificirati.

Opisane značajke omogućuju identifikaciju derivata indola koji sadrži osnovni bočni lanac, a također ukazuje radi li se o primarnoj, sekundarnoj ili pak tercijarnoj bazi. Prilikom identifikacija samih nepoznatih skupina posebna se pažnja usmjerava na činjenicu da karakteristične vibracijske vrpce u nekim slučajevima mogu biti i zaklonjene drugim vibracijskim vrpcama, a to se posebno ističe u solima organskih kiselina poput oksalata.^[36]

1.2.6. Priprava triptaminskih soli

Apsolutna asimetrična sinteza je sinteza kiralnih spojeva iz akiralnih reaktanata pri čemu nije potrebno koristiti niti jedan vanjski kiralni izvor.^[37] Da bi imala visoku pouzdanost potrebno je pripremiti i predvidjeti kiralne kristale koji nastaju samoudruživanjem akiralnih molekula.^[38] U tu svrhu pripravljaju se kiralni dvokomponentni spojevi pri čemu se fleksibilna akiralna molekula spaja s drugom akiralnom molekulom vodikovom vezom. U tu se skupinu ubrajaju kristali propelerskog tipa koji nastaju s difeniloctenom kiselinom i azaaromatskim spojevima poput fenantridina kao i kiralni kristali spiralnog tipa nastali iz 3-indolpropionske kiseline i fenantridina, ali i bifenilkarboksilne kiseline i triptamina. Tako Koshima i suradnici u svom znanstvenom radu navode kako kristalizacijom iz stehiometrijskih otopina triptamina i kiseline u metanolu nastaju četiri uzorka soli. Korištene kiseline u njihovom slučaju su bile: 2-tiokarboksilna kiselina, 2-tiofenoctena kiselina, 3-indoloctena kiselina te 3-indolepropionska kiselina. Kvaterne amonijeve soli nastaju zbog interakcije između aminoetilne skupine triptamina i karboksilne skupine odgovarajuće kiseline te zbog nastajanja vodikove veze između indolnog dijela molekule triptamina i karboksilne skupine odgovarajuće kiseline. Da se uistinu radi o kristalu soli može se dokazati određivanjem tališta i snimanjem FT-IR spektra samih dobivenih uzoraka. Tako se primjerice kvaternim amonijevim solima pripisuju vibracijske vrpce pri 3259 , 3055 i 2642 cm^{-1} . Kada se određuje molekulska struktura na temelju

kristalnih parametara uključuju se brojni čimbenici. Oni utječu na molekulsku građu samog kristala, a samim time i na samu kiralnost odnosno akiralnost kristala. Ključeni čimbenici su: molekulski oblik, potreba za što bližim slaganjem, dipol–dipol interakcije i vodikove veze. Rendgenskom strukturnom analizom moguće je potvrditi kiralnu prirodu spoja, ali i odrediti njegovu potpunu kristalnu i molekulsku strukturu, a time i apsolutnu konfiguraciju. Kiralnost same molekule povezuje se s njezinom zavojitom strukturom odnosno ona je povezana s nastankom zavojite strukture u kristalu. Prema istraživanjima do nastanka zavojite strukture u kristalu lakše će doći kada jednokomponentna molekula kiseline sadrži dvije skupine poput amino skupine ili hidroksilne skupine pri čemu može doći do međumolekulske interakcije i nastanka zavojite strukture. Na ovaj način nastali kristal bit će u većini slučajeva kiralan.^[39] Sama kiralnost kristala može se inducirati zaustavljanjem inače fleksibilne molekule u kiralnoj konformaciji prilikom nastajanja vodikove veze ili nastanka soli. Nastali kiralni kristali imat će spiralnu strukturu. Dalje navode da su njihovi kiralni kristali pripremljeni kristalizacijom pri sobnoj temperaturi iz otopine koja je nastala miješanjem dviju otopina u stehiometrijskom omjeru 1 : 1, tj. miješanjem metanolnih otopina triptamina i akiralne karboksilne kiseline u metanolu. Nakon kristalizacije spojevima su određena tališta i karakteristične IR vibracijske vrpce te kiralnost odnosno akiralnost pojedinog spoja. Primjerice, spoj nastao kristalizacijom iz otopine koja je sadržavala triptamin i 3-klorbenzojevu kiselinu pokazuje sljedeće karakteristike: kiralan je, obojen, tališta pri 115 do 116 °C, a karakteristične su mu IR apsorpcijske vrpce pri 3282 cm⁻¹, niz oštih vrpca u području 3055 do 2503 te vrpca pri 1589 cm⁻¹.

S druge strane, spoj nastao kristalizacijom iz otopine triptamina i 2-klorbenzojeve kiseline pokazuje sljedeće karakteristike: akiralan je, obojen, tališta pri 202 do 203 °C, a karakteristične su mu IR apsorpcijske vrpce pri 3311 cm⁻¹, niz vrpca u području 3115 do 2511 te vrpca pri 1622 cm⁻¹. Da su nastali spojevi soli zaključuje se po relativno visokim talištima i određenim IR apsorpcijskim vrpcama. Kiralnost, odnosno akiralnost, spoja može se određivati i pomoću cirkularnog dikroizma (CD). Opisani tip kristalizacije koristi se za razvoj novih kiralnih materijala. Trenutno se radi na proširenju apsolutne asimetrične sinteze na područje sintetske kemije. Za sada to još nije moguće jer nije moguće predviđanje kiralne kristalizacije akiralnih molekula.^[40] Svaki kiralni organski kristal je optički aktivan. Zbog ograničene slobode kretanja molekule u kristalnoj strukturi predznak i veličina optičke aktivnosti kiralnih organskih spojeva odraz je same strukture molekula i njihovog *pakiranja*. Optička aktivnost kiralnih spojeva mjeri

se pomoću HAUP metode.^[41] Kako bi se samo mjerenje HAUP metodom moglo izvršiti, za početak je bilo potrebno pripremiti uzorak tankih paralelnih ploča. Princip same metode temelji se na mjerenju intenziteta svjetla koje prolazi kroz polarizator, sam kristal i analizator prilikom čega se kutovi polarizatora i analizatora neovisno mijenjaju. Sustavne pogreške koje se mogu pojaviti uklanjaju se upotrebom optički neaktivnog kristala. Sami kiralni optički kokristali korisni su kao polazni materijali za apsolutnu asimetričnu sintezu reakcija u krutom stanju, ali i kao nelinearni optički materijali. Ovaj tip kristalizacije važan je i za probiotičko porijeklo same kiralnosti. Kiralnost samog kristala određena je spiralnim povezivanjem akiralnih molekula preko unutarmolekulskih nekovalentnih interakcija poput vodikovih veza i π - π interakcija. Kokristali koji nastaju iz akiralnih molekula optički su aktivni, ali ovo svojstvo se gubi čim se otope u otopini. Stoga se optička aktivnosti nastoji mjeriti u kristalnom stanju i povezati sa spiralnom strukturom kokristala. Kod mjerenja optičke aktivnosti HAUP metodom potrebno je otkloniti smetnju koju tvori sloj amornog *laka* koji zaostaje na samim kristalima. Problem je riješen uporabom Fe_2O_3 nakon čega je bilo moguće dobiti rotacijsku moć kokristala nastalih iz akiralnih molekula triptamina i 4-klorbenzojeve kiseline. Ovi kristali pripadaju prostornoj grupi $P2_12_12_1$. Nastali kristali bili su bezbojni i karakteristično visokih tališta (između 203 i 204 °C) zbog ionskog karaktera. Prije samog snimanja, apsolutna konfiguracija uzorka prvo je potvrđena snimanjem CD spektara. Određivanjem kristalne strukture kokristala utvrđeno je kako u samom kristalu postoje dvije vrste uzvojite strukture.^[42] Apsolutne asimetrične sinteze u čvrstom stanju iskorištavaju prokiralne reakcije koje se događaju pod utjecajem homokiralnog okoliša koje nastaje u kristalima u kojima nedostaju inverzijski centri. Kristalizacijom iz ekvimolarnih otopina triptamina i određene kiseline, koje su o ovom slučaju bile 3-bifenilkarboksilne kiseline, 4-bifenilkarboksilne kiseline te 4-bifeniloctene kiseline, iz metanola su nastajale kvarterne amonijeve soli. Rendgenskom strukturnom analizom utvrđeno je kako nastali kristali redom pripadaju prostornim grupama $P2_12_12_1$, $P2_12_12_1$ i $P2_1$. Spektri cirkularnog dikroizma korisni su i za određivanja nastalog enantiomera budući da spontanom kristalizacijom iz otopina metanola nije moguće unaprijed odrediti koji enantiomer će nastati.^[43]

1.3. EKSPERIMENTALNI DIO

1.3.1. Opis polaznog materijala

Polazni spojevi uporabljeni su bez prethodnog pročišćavanja. Niže je dan pregled njihovog podrijetla i čistoće.

Tablica 2. Pregled uporabljenih kemikalija i njihove čistoće.

Spoj	Kratica	Proizvođač	Stupanj čistoće
metanol	MeOH	Alkaloid Skopje	p.a.
benzen	C ₆ H ₆	Kemika	p.a.
2-klor-5-nitrobenzojeva kiselina	2Cl5NO ₂ BzOH	Merck	za sintezu
2-brombenzojeva kiselina	2BrBzOH	Merck	za sintezu
3-brombenzojeva kiselina	3BrBzOH	Merck	za sintezu
4-brombenzojeva kiselina	4BrBzOH	Merck	za sintezu
2-jodbenzojeva kiselina	3IBzOH	Acros Organics	98%+
3-jodbenzojeva kiselina	3IBzOH	Acros Organics	98%+
4-jodbenzojeva kiselina	3IBzOH	Acros Organics	98%+
2-klorbenzojeva kiselina	2ClBzOH	Acros Organics	98%+
3-klorbenzojeva kiselina	3ClBzOH	Acros Organics	98%+
trikloroctena kiselina	Cl ₃ AcOH	nepoznat	–
<i>meso</i> -dibromjantarna kiselina	<i>m</i> Br ₂ jan	nepoznat	–

1.3.2. Priprava kristalizacijskih otopina i opis dobivenih produkata

Kristalizacijske otopine pripravljene su na dva načina.

NAČIN A

Jedanaest otopina pripremljeno je otapanjem 0,100 mmola tripatmina u 5,0 mL metanola i 0,100 mmol potrebne kiseline u 5,0 mL metanola. Pripremljene otopine nakon toga su pomiješane u volumnom omjeru 1 : 1 (osim u slučaju *meso*-dibromjantarne kiseline kada je volumni omjer miješanja bio 1 : 2). Dobivene reakcijske smjese ostavljene su hlapiti tijekom nekoliko dana. Isti je postupak ponovljen, ali je kao otapalo uporabljen benzen.

NAČIN B

U slučajevima kada je NAČINOM A dobiven ili smeđi kruti *lak* ili vrlo sitan prah, kristalizacije su ponovljene iz smjese otapala (ili benzen/metanol ili kloroform metanol, s tim da je kiselinški reaktant uvijek otapan u metanolu). Tako je priređeno osam otopina. Dobivene otopine ostavljene su hlapiti tijekom dva dana. Nakon toga, reakcijske smjese su dekantirane te su dobiveni produkti sušeni na zraku jedan dan.

U sljedećoj tablici dan je pregled rezultata kristalizacijskih sinteza i boja njihovih produkata.

Tablica 3. Pregled rezultata sintetskih kristalizacija te opis njihove boje i kristalnosti.

Kiselina	MeOH	C ₆ H ₆	MeOH/C ₆ H ₆	MeOH/CHCl ₃
2Cl ₅ NO ₂ BzOH	žuti (c)	žuti (c)		
2BrBzOH	smeđi lak	bijeli (c)	bijeli (s)	bijeli (c)
3BrBzOH	narančasti (c)	narančasti (c)		
4BrBzOH	žuti (c)	žuti (c)	žuti (c)	
2IBzOH	smeđi lak	bijeli (c)	žuti (s)	bijeli (c)
3IBzOH	smečkasti (s)	smečkasti (s)	bijeli (c)	
4IBzOH	tamnožuti (c)	žuti (c)		
2ClBzOH	smeđi lak (c)	smečkasti (s)	bijeli (s)	bijeli (c)
3ClBzOH	bijeli (c)	bijeli (c)		
Cl ₃ AcOH	narančasti (c)	narančasti (c)		
mBr ₂ jan	narančasti (c)	narančasti (c)		

1.3.3. IR spektroskopija i NMR spektroskopija u čvrstom stanju

Reaktantima i produktima dobivenim kristalizacijskim sintezama, a prikupljenim zasebno sa stijenke i s dna tikvice, snimljeni su infracrveni spektri instrumentom Perkin Elmer Spectrum Two koji je opremljen dijamantnim UATR dodatkom. Za obradu IR spektara korišten je programski paket Perkin Elmer Spectrum, a spektri su snimani u području valnih brojeva 4000 – 400 cm⁻¹.

NMR spektri produkata u čvrstom stanju snimljeni su pri sobnoj temperaturi NMR spektrometrom Bruker Avance NEO 400 MHz opremljenim 4,0 mm sondom s dvostrukom rezonancijom HX CPMAS iProbe. Larmorove frekvencije jezgri atoma procija, ugljika i dušika iznosile su 400, 100 i 40 MHz. Kemijski pomaci ¹H i ¹³C NMR referirani su u prema tetrametilsilanu TMS ($\delta_{H,C} = 0,0$ ppm), korištenjem adamantana kao vanjskog standarda za tetrametilsilan (TMS), odnosno ugađanjem kemijskog pomaka ¹³C signala metilenske (CH₂) skupine adamantana pri 38,48 ppm. NMR kemijski pomaci ¹⁵N referirani su prema tekućem amonijaku, NH₃(l) ($\delta_N = 0,0$ ppm). Uzorci su prešani u ZrO₂ rotore promjera 4,0 mm i zatvoreni Kel-F čepovima. Brzine vrtnje uzoraka iznosile su 15 000 Hz za ¹H MAS i 10 000 Hz za ¹³C CP-MAS i ¹⁵N CP MAS eksperimente.

1.4. REZULTATI I RASPRAVA

1.4.1. Karakteristike ATR IR spektra triptamina i triptaminijevog hidroklorida

ATR IR spektar triptamina ima sljedeće karakteristike: slabu i široku vrpcau pri 3410 cm^{-1} , dvije umjerene i relativno oštre vrpce pri 3345 cm^{-1} i 3285 cm^{-1} koje odgovaraju vrpcau istezanja $\nu(\text{NH}_2)$. Zatim slijede: duga široka vrpca s nizom malih maksimuma u području od 3200 cm^{-1} do 2500 cm^{-1} , zatim jaka i oštra vrpca pri 1592 cm^{-1} , umjerena vrpca s desnim ramenom pri 1453 cm^{-1} , umjerena vrpca s lijevom ramenom pri 1345 cm^{-1} , umjerena oštra vrpca pri 1232 cm^{-1} , umjerena vrpca s lijevom ramenom pri 1108 cm^{-1} , umjerena vrpca pri 1006 cm^{-1} , jaka vrpca pri 933 cm^{-1} , jaka vrpca pri 874 cm^{-1} , slaba vrpca pri 803 cm^{-1} te vrlo jaka vrpca karakteristična za 1,2-supstituirani benzenski prsten pri 742 cm^{-1} . U području od 1600 cm^{-1} do 700 cm^{-1} niz je vrpcau karakterističnih za benzenski prsten nesupstituirane indolne jezgre.

Triptaminske soli općenito imaju jednu široku vrpcau između 3400 cm^{-1} i 3100 cm^{-1} koja je ovisna o supstituiranosti atoma dušika u bočnom ogranku. Kod primarnih amina ona je u području od 3290 cm^{-1} do 3250 cm^{-1} , kod sekundarnih je blizu 3400 cm^{-1} , a kod ternarnih u području od 3320 cm^{-1} do 3125 cm^{-1} . Triptaminski hidroklorid ima vrpce pri 1330 cm^{-1} (jača od većine susjednih) te 1225 cm^{-1} , 1100 cm^{-1} i 1010 cm^{-1} koje su karakteristične za nesupstituirane triptamine. Hidrokloridi primarnih amina imaju vrlo jaku vrpcau pri 2950 cm^{-1} te nekoliko slabijih od 2800 cm^{-1} do 2450 cm^{-1} i često niz umjerno jakih vrpcau u području od 2060 cm^{-1} do 1945 cm^{-1} . Vrpca pri 2960 cm^{-1} karakteristična je za deformacije metilenske skupine.

Sve triptaminu srodne kristalne baze imaju široku vrpcau u području od 3300 cm^{-1} do 2500 cm^{-1} na kojoj je i do petnaestak oštih vrpcau koje su posljedica jake vodikove veze indolne NH skupine s NH_2 skupinom bočnog ogranka. Ovaj niz nestaje u spektrima razrijeđenih otopina te se umjesto njega pojavljuje jaka vrpca pri 3470 cm^{-1} koja je karakteristika NH istezanja. Ova vrpca nestaje u spektrima soli te ostaje jedna ili dvije vrpce u području između 3400 cm^{-1} i 3100 cm^{-1} (kod primarnih amina to bude pri 3290 cm^{-1} do 3250 cm^{-1}).

Vrpce pri 1330 cm^{-1} , 1225 cm^{-1} , 1100 cm^{-1} i 1010 cm^{-1} prepoznatljive su kod nesupstituiranih triptamina i njihovih soli.

1.4.2. Karakteristike ATR IR spektra polaznih kiselina i adicijskih produkata

ATR IR spektri polaznih kiselina sadrže očekivane široke multipletne vrpce istežanja $\nu(\text{COO}-\text{H})$ koje su slabog do umjerenog intenziteta i u području od 3200 cm^{-1} do 2000 cm^{-1} . Oko 1700 cm^{-1} prisutne su jake ili vrlo jake vrpce karakteristične za istežanje $\text{C}=\text{O}$ skupina (tablica 4).

U ATR IR spektrima adicijskih produkata vrpce istežanja koje bi bile karakteristične za istežanje $\text{C}=\text{O}$ skupine u anionskom obliku kiseline ($\text{R}-\text{COO}^-$), a trebale bi se pojaviti pri 1580 cm^{-1} i 1420 cm^{-1} , ne može se jednoznačno identificirati jer ih ili nema ili se pojavljuju i u spektrima čistih kiselina. S druge strane, svi spektri sadrže slabu i široku multipletnu vrpcu u području od 3200 cm^{-1} do 1800 cm^{-1} koja bi odgovarala istežanju $\nu(\text{COO}-\text{H})$ i osim toga vrpce deformacije izvan ravnine karakteristične za karboksilnu skupinu, $\delta_{\text{oop}}(-\text{CO}-\text{OH})$ u području od 960 cm^{-1} do 900 cm^{-1} (Tablica 4).

Tablica 4. Pregled nekih karakterističnih vrpei u ATR IR spektrima čistih kiselina i njihovih adicijskih spojeva s triptaminom.

Kiselina	$\nu(\text{C}=\text{O}) / \text{cm}^{-1}$	$\delta_{\text{oop}}(-\text{CO}-\text{OH})$ kiselina / cm^{-1}	$\delta_{\text{oop}}(-\text{CO}-\text{OH})$ produkt / cm^{-1}
2Cl5NO ₂ BzOH	1684 s	921 s lsh	930 vw
Cl ₃ AcOH	1739 vs	953 m	928 vw
2BrBzOH	1677 s	957 w d	927 w
3BrBzOH	1682 s	928 m	923 w
4BrBzOH	1676 vs	924 s	929 w (910 w)
2ClBzOH	1682 s	911 s	922 w
3ClBzOH	1678 s	910 s	922 vw
3IBzOH	1677 vs	927 s	922 vw
4IBzOH	1679 s	930 m	926 vw
<i>m</i> Br ₂ jan	1699 vs	901 vs	931w

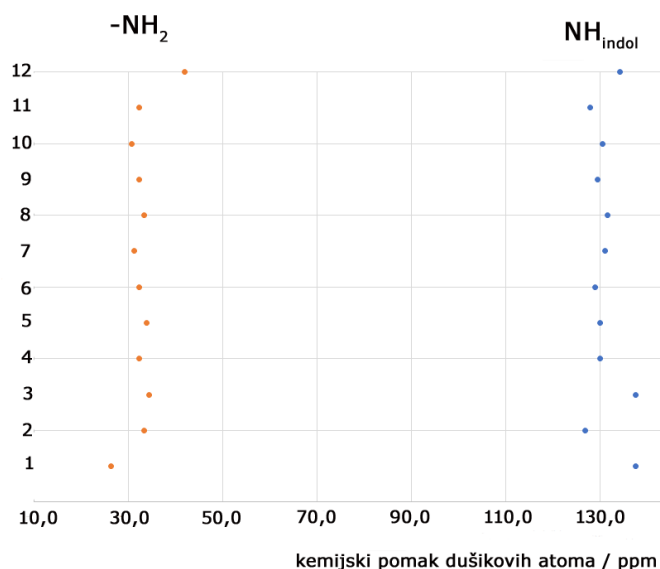
1.4.3. Karakteristike ¹⁵N NMR spektra polaznih kiselina i adicijskih produkata

U kristalu čistog triptamina^[44] bočna amino skupina potencijalni je donor vrlo slabe $\text{N}-\text{H}\cdots\text{N}$ interakcije prema N12 atomu indolnog tijela susjedne molekule, $d(\text{N11}-\text{H}\cdots\text{N12}) = 3,806\text{ \AA}$. Ista $\text{N}-\text{H}$ skupina indonog tijela donor je $\text{N12}-\text{H}\cdots\text{N11}$ vodikove veze prema amino skupini bočnog ogranka sljedeće molekule, $d(\text{N11}-\text{H}\cdots\text{N12}^i) = 2,917\text{ \AA}$. Tim povezivanjima nastaje gusta rompska molekulska mreža.

U kristalnoj strukturi triptaminijevog hidroklorida,^[45] amino skupina bočnog ogranka trostruki je donor vodikovih veza prema kloridnim ionima, $d(\text{N11}-\text{H1}\cdots\text{Cl1}^i) = 3,158\text{ \AA}$, $d(\text{N11}-\text{H2}\cdots\text{Cl1}^{ii}) = 3,221\text{ \AA}$ i $d(\text{N11}-\text{H3}\cdots\text{Cl1}^{iii}) = 3,158\text{ \AA}$, a amino skupina inodolnog tijela ima slabu

vodikovu vezu prema sljedećem anionu, $d(\text{N12-H4}\cdots\text{Cl1}^{ii}) = 3,235 \text{ \AA}$. Na taj način nastaje rompska mreža u kojoj su kloridni ioni četverostruki akceptorski čvorovi.

Ove dvije tvari uzete su kao standardi s kojima su uspoređivani kemijski pomaci dušikovih atoma u ^{15}N NMR spektrima priređenih adicijskih spojeva (slika 2).



Slika 2. Prikaz kemijskih pomaka dušikovih atoma u ^{15}N NMR spektrima čistog triptamina, triptaminijevog hidroklorida i priređenim adicijskim spojevima s upotrijebljenim kiselinama. **1** – čisti triptamin, **2** – *mezo*-dibromjantarna kiselina, **3** – 3-klor-5-nitrobenzojeva kiselina, **4** – 2-klorbenzojeva kiselina, **5** – 2-brombenzojeva kiselina, **6** – 3-brombenzojeva kiselina, **7** – 4-brombenzojeva kiselina, **8** – 2-jodbenzojeva kiselina, **9** – 3-jodbenzojeva kiselina, **10** – 4-jodbenzojeva kiselina, **11** – trikloroctena kiselina i **12** – triptaminijev hidroklorid.

Kemijski pomak atoma dušika amino skupine bočnog ogranka u kristalu čistog triptamina je 26,3 ppm. S obzirom na kristalnu strukturu^[44] tu kristalnu fazu možemo proglasiti kokristalnom, jer prema strukturnim podacima pri sobnoj temperaturi nije došlo do prijenosa protona na triptaminsko tijelo. Kemijski pomak atoma dušika indolnog tijela je 137,6 ppm, a sama skupina uključena je u $\text{N2-H}\cdots\text{N1}^i$ vodikovu vezu.

Kristal triptaminijevog hidroklorida je pri sobnoj temperaturi nedvojbeno ionski,^[45] došlo je do prijenosa protona na triptaminsko tijelo, te se kemijski pomak atoma dušika od 41,9 ppm može smatrati jasnim pokazateljem ionske naravi čvrste faze. Kemijski pomak atoma dušika indolnog tijela u kristalnoj fazi triptaminijevog hidroklorida je 134,4, te se interakciju $\text{N1-H2}\cdots\text{Cl1}^{ii}$ interakcijom od 3,235 Å može smatrati vodikovom vezom (sukladno kemijskom pomaku analognog dušikovitog atoma u kristalu čistog triptamina). Ako se pogleda kemijske pomake dušikovih atoma aminskih skupina bočnih ogranaka u priređenim adicijskim spojevima

(vrijednosti od 30,6 do 34,4) teško je reći u kojoj mjeri je došlo do prijenosa protona, tj. jesu li priređeni adicijski spojevi kokristalne ili ionske naravi. Jedino se, na temelju činjenice da mu je poznata kristalna i molekulska struktura, za adicijski spoj s 3-klor-5-nitrobenzojevom kiselinom^[46] može reći da je ionski, $\delta(N1) = 34,4$ ppm. Jesu li manji kemijski pomaci u priređenim adicijskim spojevima dovoljan znak prijenosa protona teško je reći, pogotovo ako se uzme u obzir korelacija s ATR IR spektrima koji više idu u prilog kokristalnim fazama.

Jednako je nepouzdana suditi o uključenosti atoma dušika indolnog tijela u međumolekulske interakcije s obzirom na to da su kemijski pomaci tih atoma u adicijskim spojevima u rasponu od 126,8 do 131,6 ppm, dok su u triptaminijevom hidrokloridu, čistom triptaminu i triptaminijevom 3-klor-5-nitrobenzoatu, kod kojih kristalni podatci nedvojbeno pokazuju takve interakcije, ipak nešto veći, redom: 134,3 ppm, 137,6 ppm i 137,6 ppm.

1.5. ZAKLJUČAK ISTRAŽIVAČKOG DIJELA

Dobiveni produkti uglavnom su bili sitni prahovi od kojih je kod nekih pod lupom vidljivo da su izgrađeni od sitnih igličastih kristalića (no premalenih za difrakcijske pokuse određivanja kristalne i molekulske strukture). Na temelju ATR IR spektara i prema kemijskim pomacima atoma dušika u ¹⁵N NMR spektrima, usporedbom s triptaminijevim hidrokloridom teško je jednoznačno odrediti jesu li dobiveni produkti kokristalne naravi, tj. u kojoj mjeri je došlo do prijenosa protona na triptaminsku Brønsted-Lowryevu bazu.

U nastavku istraživanja potrebno je iznaći način za pripremu monokristalnih uzoraka pogodnih za difrakcijske pokuse kako bi se povećao broj adicijskih spojeva kojima su poznati kristalografski strukturni podatci i time proširila saznanja o sintonskim karakteristikama molekula triptamina koje odlikuju dva vezna mjesta – amino skupina alkilnog ogranka (N11) i amino skupina indolnog tijela (N12).

Osim toga, usporedba kristalografskih podataka s onima dobivenim ATR IR i ¹⁵N NMR spektroskopijom omogućit će jasniji opis međumolekuskog povezivanja u onim slučajevima kada neće biti moguće odrediti kristalnu i molekulsku strukturu.

Sve zajedno pomoći će određivanju svojstava amino skupine alkilnog ogranka (N11) kao višestrukog donora i potencijalnog monoakceptora vodikovih veza te utvrdi sklonost dušikovog atoma iz indolnog tijela tvorenju vodikovih veza prema atomu kisika iz susjednih molekula ili

njegovom usmjeravanju na π -sustav susjednog indolnog tijela ili dušikove atome bočnog ogranka.

Dostupni skupovi strukturnih podataka u određenoj bi mjeri trebali omogućiti predviđanje konformacije triptaminskih tijela i potencijalno omogućiti prepoznavanje parametra koji utječu na prostorno usmjerenje, tj. određuju torzijske kutove C13–C12–C11–N11 i C110–C13–C12–C11.

2. METODIČKI DIO

2.1. STARI I NOVI NASTAVNI PROGRAM KEMIJE

2.1.1. Općenito o starom osnovnoškolskom preogramu

Na temelju dotadašnjeg iskustva i primjera iz prakse, Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske 2006. godine uvodi novi pristup poučavanju u osnovnoj školi čije su temeljne karakteristike dane u dokumentu nazvanom *Hrvatski obrazovni nacionalni standard*, odnosno skraćeno HNOS.^[47]

Uvođenje novog pristupa imalo je za cilj uvesti brojne promjere u nastavnu praksu. Dotadašnje poučavanje bilo je usmjereno prema nastavnom sadržaju, dok je uvođenje novog pristupa prema HNOS-u imalo za cilj poučavanje usmjereno na učenika(e). Osim usmjerenosti, kao bitna razlika istaknuta je i težnja za većom ujednačenosti (usklađenosti) predškolskih, osnovnoškolskih, srednjoškolskih i visokoškolskih razina hrvatskog odgojno-obrazovnog sustava.

Kao glavni cilj novog pristupa poučavanja istaknuta je potreba prilagodbe nastavnih oblika, metoda i sredstava rada individualnim potrebama učenika kako bi se osigurao njihov što bolji odgojno-obrazovni uspjeh.

2.1.2. Općenito o starom osnovnoškolskom programu iz kemije

Cilj nastavnog programa kemije prema HNOS-u bio je pružiti učenicima zanimljiv uvid u znanstvene osnove, omogućiti im razumijevanje svakodnevnih prirodnih pojava i načina kemijskog istraživanja i objašnjenja prirodnih pojava i zakonitosti.^[47] Kako je kemija eksperimentalna znanost, iskustveno učenje izdvojeno je kao glavni način učenja, a izvođenje pokusa kao najvažnija nastavna aktivnost. Nastavni program prema HNOS-u osmišljen je tako da učenik do spoznaja dolazi djelatnim metodama učenja, a svoje sposobnosti razvija misaonim, praktičnim i perceptivnim djelovanjem. Stručnjacima je prilikom izbora nastavnih sadržaja glavni kriterij bila mogućnost primjene novih spoznaja na vlastiti, svakodnevni život. Prilikom izrade samog programa posebna pažnja posvećivana je poštovanju principa *od poznatih odnosno jednostavnih pojmova prema nepoznatim odnosno složenijim pojmovima*. Učenika je potrebno na što jednostavniji način uvesti u znanstveni način razmišljanja, potaknuti ga na što savjesniji odnos prema prirodi koja ga okružuje te ga osposobiti za primjenu stečenih kemijskih znanja u svom svakodnevnom životu. Uvođenjem nastavnog programa prema HNOS-u učiteljima je ostavljeno više slobode pri izvođenju nastavnog programa i obradi nastavnih sadržaja. Glavni zadatak učitelja bio je ostvariti nastavne ciljeve, koje je moguće

ostvariti putem unaprijed određenih (isplaniranih) zadaća. Kao neke od unaprijed određenih glavnih zadaća postavljene su:

- stjecanje znanja o najvažnijim kemijskim procesima i razumijevanje kemijskih zakonitosti i procesa,
- vježbanje primjene znanstvene metode,
- sigurno rukovanje kemijskim priborom, posuđem i kemikalijama,
- razvijanje odgovornog ponašanja prema radnoj i životnoj okolini,
- razvijanje sposobnosti opisivanja uočenih promjena, izražavanja vlastitog mišljenja i postavljanja problemskih pitanja,
- razvijanje apstraktnog, logičkog, kreativnog i kritičkog mišljenja,
- samostalno rješavanje problema,
- razvijanje suradničkog učenja,
- rješavanje problema prema uputama.

Obrazovna strategija koju je trebalo primjenjivati tijekom nastave u pravilu je kretala od pokusa (koji je utjelovljenje programskog pitanja) iz kojeg proizlaze opažanja, koja treba objasniti, da bi sve završilo konačnim zaključkom (novim znanjem). Konačni zaključak sinteza je objašnjenja pojedinih opažanja. Temeljna zadaća učitelja je postavljanje pitanja i usmjeravanje rasprave tijekom koje učenici rabe ranije usvojena znanja da bi objasnili opaženo. Na taj način ranije stečeno znanje dobiva uporabnu vrijednost (postaje korisno) i samim time trajnije. Uspješnost učenika u objašnjavanju problema s kojima se suočavaju, osnažuje njihov duh i podiže motivaciju za daljnji rad. Kao dio ukupne nastavne strategije preporučeno je i provođenje učeničkih miniprojekata kojima je kao cilj glavni cilj postavljeno vježbanje u primjeni znanstvene metode te poticanje logičkog razmišljanja učenika, kreativnosti i kritičkog promišljanja.

2.1.3. Osnovnoškolski nastavni program kemije za 7. razred prema HNOS-u

Nastavni program za sedmi razred prema HNOS-u uključivao je dvadeset glavnih i pet izbornih tema.^[47] Glavne teme bile su:

- *Što proučava kemija,*
- *Makroskopska fizikalna svojstva tvari,*
- *Makroskopske fizikalne i kemijske promjene tvari,*
- *Vrste tvari,*

- *Smjese i postupci razdvajanja smjesa,*
- *Otopine,*
- *Iskazivanje sastava smjesa udjelima,*
- *Zrak i glavni sastojci zraka,*
- *Voda,*
- *Vodik,*
- *Atomi i kemijski elementi,*
- *Relativna atomska masa,*
- *Ioni i ionske strukture,*
- *Povezivanja atoma i molekula,*
- *Valencije i kemijske formule,*
- *Relativna molekulska masa,*
- *Kemijske reakcije i očuvanje mase,*
- *Kemijske reakcije i energija,*
- *Brzina kemijske reakcije i*
- *Kemijski elementi u periodnom sustavu elemenata.*

Za svaku glavnu temu bile su zadane dvije vrste ciljeva. Prvu vrstu činili su ključni pojmovi koje je učenik morao usvojiti tijekom obrade teme. Drugu vrstu činila su obrazovna postignuća u kojima su navedena očekivanja što bi učenik trebao biti u stanju učiniti nakon što završi određeni proces učenja.

Ako se kao primjer analizira nastavna tema *Otopine*, unaprijed određeni ključni pojmovi bili su: *otopina, koncentracija (kvalitativno), nezasićena, zasićena i prezasićena otopina* dok su unaprijed određena obrazovna postignuća bila: *razumijeti* da su otopine homogene smjese tvari, *razlikovati* pojmove otopina i otapalo, *pripremiti* nezasićenu, zasićenu i prezasićenu otopinu, *prikazati* dijagramom topljivosti ovisnost topljivosti tvari o temperaturi, *pročitati* podatke iz dijagrama topljivosti.

Sve u svemu zadani ključni pojmovi su primjereni dobi učenika, a jednako vrijedi i za postavljena obrazovna postignuća. Ipak, valja reći da su neka obrazovna postignuća, na žalost, definirana nemjerljivim glagolima (poput *razumijeti, poznavati, shvatiti ili znati...*).

2.1.4. Stari osnovnoškolski nastavni program kemije za 8. razred

Stari nastavni program kemije za osmi razred uključivao je dvadeset glavnih i pet izbornih tema.^[47] Glavne teme bile su:

- *Nemetali,*
- *Metali,*
- *Soli,*
- *Maseni udio elemenata u spoju i formula spoja,*
- *Ugljik i njegovi spojevi,*
- *Kruženje ugljika u prirodi,*
- *Fosilna goriva,*
- *Kvalitativni sastav organskih spojeva,*
- *Zasićeni ugljikovodici,*
- *Nezasićeni i aromatski ugljikovodici,*
- *Alkoholi,*
- *Karboksilne kiseline,*
- *Esteri,*
- *Masti i ulja,*
- *Monosaharidi,*
- *Disaharidi i polisaharidi,*
- *Aminokiseline i bjelančevine,*
- *Enzimi,*
- *Sapuni i detergentski i*
- *Plastične mase.*

Kao i u nastavnom programu za sedmi razred, svakoj temi zadane su dvije vrste ciljeva kao ključne riječi (o kojima nešto treba znati) i obrazovna postignuća (koja učenici trebaju ostvariti). Ako se kao primjer analizira nastavna tema *Enzimi* unaprijed određene ključne riječi bile su: *enzim, biokatalizator, aktivno mjesto u enzimu i supstrat* dok su zadana obrazovna postignuća bila: *samostalno izvesti pokus i obrazložiti hidrolizu škoba enzimima, spoznati da su enzimi proteini, naučiti da enzimi kataliziraju samo jednu kemijsku reakciju ili više srodnih reakcija, poznavati ulogu enzima u organizmu i procesima vrenja, povezati znanja o enzimima stečena u nastavi biologije s iskustvima i znanjima stečenim tijekom nastave kemije.*

2.1.5. Zaključne crtice o osnovnoškolskom nastavnom programu prema HNOS-u

Nastava kemije prema HNOS-u provedena je kao eksperimentalni program u 49 hrvatskih osnovnih škola tijekom školske godine 2005./2006., a sveukupni eksperimentalni program HNOS-a pratio je Institut Ivo Pilar, koji je prvi put proveo vanjsko vrednovanje jednog dijela hrvatskog obrazovnog sustava.

U istraživanju je sudjelovalo 40 000 ispitanika, od učenika do roditelja, učitelja, ravnatelja, stručnog osoblja, i drugih. Inicijalno testiranje učenika provedeno je u listopadu na početku primjene eksperimentalnog programa kada je provjeravano znanje učenika, njihove kognitivne sposobnosti te socijalizacijski i odgojni aspekti kako u 49 eksperimentalnih škola (nastava prema HNOS-u) tako i u 49 odabranih kontrolnih škola. Završnim testiranjem, koje je provedeno u svibnju 2006. godine, utvrđeno je da su učenici koji su pohađali eksperimentalne programe bolje pripremljeni za daljnje školovanje.^[48] Iako je većina nastavnih programa prema HNOS-u pokazala bolje rezultate u odnosu na rezultate u odnosu na rezultate učenika iz kontrolne skupine, kemija je bila jedini predmet u kojem su učenici u svim kategorijama istraživanja postigli bolje rezultate u odnosu na kontrolnu skupinu.^[49]

Na temelju ukupnog broja glagola koji se pojavljuju u definiranju obrazovnih postignuća, može se reći da je program za oba razreda postavio 249 obrazovnih postignuća. Pri tome je uporabljeno 62 različita glagola od čega je 13 nemjerljivih kojima je definirano 94 obrazovna postignuća (38,0 %). Uporabljivi nemjerljivi glagoli su: čuvati (1), naučiti (9), poznavati (26), raspravljati (8), razumjeti (11), shvatiti (11), spoznati (1), steći (2), upoznati (7), usvojiti (3), uvidjeti (1) i znati (14).

Što se tiče mjerljivih glagola, njima je definirano 153 obrazovnih postignuća. Uporabljeno je 47 različitih glagola, a to su: dobiti (1), dokazati (13), imenovati (2), iskazati (2), ispitati (2), istražiti (2), izjednačiti (1), izmjeriti (2), izolirati (1), izračunati (3), izraditi (3), izvesti (9), nabrojiti (1), nacrtati (1), načiniti (2), napisati (6), navesti (4), obrazložiti (13), očitati (1), odabrati (1), odrediti (2), opaziti (1), opisati (3), pisati (3), pokazati (5), postupiti (1), povezati (8), predložiti (1), prepoznati (5), pridijeliti (1), prikazati (8), prikupiti (1), primijeniti (5), pripremiti (4), procijeniti (1), pročitati (1), rabiti (2), razlikovati (17), razložiti (1), rješavati (1), rukovati (1), sastaviti (2), složiti (1), uočiti (3), upotrijebiti (1), usporediti (2) i zaključiti (2). U

taksonomskom smislu uporabljeni glagoli dobro su raspoređeni po svih šest razina Bloom-Anderson-Kratwohlove taksonomije.^[50]

2.1.6. Općenito o novom osnovnoškolskom nastavnom programu

U sljedećih deset godina događale su se različite društvene promjene te su se posljedično nizale i različite ideje o stanju obrazovnog sustava i potrebnim promjenama. Želja za usklađivanjem svih nivo obrazovnog sustava na kraju je dovela do još većeg zahvata u hrvatski školski sustav. Stoga je u razdoblju od 2015. na ovamo započela kompletna reforma hrvatskog školstva, koja je u jednom trenutku i prekinuta zbog smjene vlasti. Donesen je dokument Nacionalnog kurikuluma^[51] koji u sebi uključuje i Nacionalni kurikulum za osnovnoškolski odgoj i obrazovanje.

Trenutni rezultat tog procesa je tzv. Škola za život.^[52] Osnovnoškolski odgoj i obrazovanje, osim što omogućuju stjecanje temeljenog općeg obrazovanja imaju četiri osnovna cilja:

- cjelovit i uravnotežen razvoj svih potencijala učenika,
- osposobljavanje učenika za nastavak obrazovanja i cjeloživotno učenje,
- razvijanje odnosa učenika s drugima utemeljenog na suradnji i uvažavanju te
- aktivno i odgovoreno sudjelovanje učenika u životu zajednice.

Zašto je bi bilo važno u potpunosti ostvariti ove ciljeve? Svaki učenik ima pravo na kvalitetno obrazovanje pa ovakav pristup doprinosi i razvoju osnovnih vrijednosti poput znanja, poduzetnosti, identiteta, poštovanja, odgovornosti, solidarnosti, integriteta. Ostvarivanjem svih zadanih ciljeva omogućuje kognitivni, emocionalni, socijalni, etički, estetski i tjelesni razvoj učenika. Učenici razvijaju prosocijalno ponašanje koje uključuje empatiju, međusobno pomaganje i spremnost na suradnju. Razvijaju i aktivni pristup rješavanja mogućih problema kako u vlastitom životu tako i u životu zajednice. Također, učenici stječu temeljna znanja, vještine i stavove potrebne za nastavak obrazovanja.

Kurikulum donosi smjernice za oblikovanje procesa učenja i poučavanja pri čemu je posebno naglašena aktivna uloga samih učenika te učiteljeva velika odgovornost pri osiguravanju što kvalitetnijih uvjeta učenja. Posebno je važno uvažavanje različitosti između učenika, pri čemu se posebna pažnja usmjerava na podršku prilikom razvoja učenikovih potencijala. Pažnja se treba usmjeriti i na dvije skupine koje su često znale biti zanemarene, a to su: daroviti učenici te učenici s poteškoćama u razvoju.

U osnovnoškolskom obrazovanju važno je učeniku pokazati raznolika iskustva učenja te ga upoznati s različitim odgojno-obrazovnim područjima kurikuluma. Za sva područja kurikuluma definirana su odgojno-obrazovna očekivanja koja imaju veliku ulogu pri razvoju učenikovih sposobnosti što uvelike doprinosi i kvalitetnijem postupku vrednovanja učenika. Definiranje odgojno-obrazovnih ishoda po pojedinim odgojno- obrazovnim područjima i predmetima omogućilo je određivanje razine usvojenosti odgojno- obrazovnih ishoda odnosno određivanje konkretnih kriterija vrednovanja koji su jedinstveni u svim školama.

Vrednovanje se temelji na sljedećim načelima:

- vrednovanje usmjereno učenju,
- vrednovanje usvojenosti sveukupnih odgojno- obrazovnih ishoda,
- transparentost i pravednost vrednovanja te
- uravnoteženost unutarnjeg i vanjskog vrednovanja usvojenosti ishoda učenja.

Vrednovanje uključuje različite oblike sustavnog praćenja i procjene, a razlikuju se tri pristupa vrednovanju: vrednovanje za učenje, vrednovanje kao učenje te vrednovanje naučenog.

Uvođenjem kurikuluma uvodi se i promjena u organizaciji odgojno-obrazovnog procesa. Učiteljima je sada ostavljena potpuna sloboda prilikom planiranja učenja i poučavanja na dnevnoj, tjednoj i mjesečnoj razini. Kako samoj školi, tako je i učiteljima omogućena potpuna autonomija u načinu realiziranja zadanih odgojno- obrazovnih ciljeva i ishoda te u izboru samih aktivnosti i sadržaja pri čemu je svaki učitelj dužan uvažavati individualne razlike u sposobnostima i interesima pojedinog učenika. Učiteljeva je odgovornost odabrati odgovarajući pristup poučavanju kako bi učenicima omogućio učinkovito i smisljeno učenje poštujući njihov interes te potičući znatiželju i motivaciju za učenje. Iako učitelji imaju potpunu slobodu prilikom planiranja i organiziranja nastavnog procesa, važno je napomenuti kako je jedna od glavnih zadaća učitelja planirati i organizirati učenje i poučavanje tako da se postigne što aktivnija uloga samih učenika. Učitelj ima za cilj postići poticajno okruženje za učenje pri čemu mu od pomoći mogu biti unaprijed određene smjernice: cjelovit razvoj i dobrobit učenika, aktivna uloga učenika u učenju, povezanost sa životnim iskustvima, interesima, vrijednostima i znanjima, poticanje složenijih oblika mišljenja i primjena naučenog, usmjerenost prema suradnji i otvorenost prema zajednici, jasna i visoka očekivanja, individualizacija.

U pristupu poučavanju osobito je važno da se usvajanje novih znanja uvijek nadograđuje na učenikova dotadašnja iskustva i znanja. Najučinkovitije je učenje neposrednim iskustvom pa bi situacije u kojima se uči te materijali i izvori za učenje trebali biti stvarni i autentični. Tijekom

osnovnoškolskog odgoja i obrazovanja važno je steći i generičke kompetencije koje se određuju kao skup znanja, sposobnosti i vještina koje će učenik moći primjeniti u različitim životnim situacijama. Neke bitne generičke kompetencije su: sposobnost rješavanja problema, donošenje odluka, metakognicija, kritičko mišljenje, razvijanje kreativnosti i inovativnosti, razvijanje komunikacijskih vještina, razvijanje informacijske i digitalne pismenosti, upravljanje sobom, upravljanje osobnim i profesionalnim razvojem te povezanost s drugima.

Generičke kompetencije zajedno s predmetnim kompetencijama i međupredmetnim temama čine temeljne kompetencije koje se stječu tijekom školovanja. Nacionalni kurikulum podijeljen je u nekoliko područja, a neka od njih su: jezično-komunikacijsko područje, matematičko područje, prirodoslovno područje, tehničko i informatičko područje te umjetničko područje. Osim podjele Kurikuluma na područja, u istom su navedene i međupredmetne teme poput: *Osobni i socijalni razvoj, Zdravlje, Održivi razvoj, Učiti kako učiti, Poduzetništvo, Uporaba informacijske i komunikacijske tehnologije te Građanski odgoj i obrazovanje*. Djeca i mlade osobe će kao rezultat poučavanja međupredmetnih tema razvijati: sliku o sebi, samopoštovanje, samopouzdanje, prihvaćanje i upravljanje emocijama, socijalne i komunikacijske vještine, odgovorno ponašanje prema sebi i drugima, usvojiti će znanja i vještine kako pomoći sebi i drugima, kako prepoznati, razumijeti i izabrati zdrave životne navike. Osim toga razvijat će: odgovorno ponašanje prema zdravlju, znanja o raznolikosti prirode, spoznaje o uzrocima i posljedicama ljudskog utjecaja na prirodu, aktivno djelovanje u školi i zajednici te aktivan pristup učenju i pozitivan stav prema učenju. Bit će sposobni primjenjivati stečeno znanje i vještine u različitim situacijama, bit će sposobni organizirati i upravljati različitim procesima. Imat će pozitivan odnos prema radu te dobro razvijene radne navike, znati će primjenjivati informacijsku i komunikacijsku tehnologiju za obrazovne, radne i privatne potrebe. Učenici će također usvojiti znanja o ljudskim pravima, dužnostima i odgovornostima građana.

2.1.7. Prirodoslovno područje kurikuluma

Prirodoslovno područje obuhvaća spoznaje prirodnih znanosti, a glavni cilj učenja i poučavanja prirodnih znanosti je razvijanje prirodoznanstverodoznanstvene pismenosti. Učenje prirodoslovnih tema učenicima pomaže i pri razumijevanju prirode, uspješanom nastavku školovanja i razvoju na početku profesionalne karijere. Učenje i poučavanje treba se ostvariti u sklopu aktivnosti kojima se razvijaju složeniji oblici mišljenja i primjene usvojenog znanja. Učenici spoznaje nadograđuju u ciklusima, koji postaju sve složeniji i postavljaju sve veća

očekivanja pri čemu treba poštovati individualne mogućnosti svakog učenika. Interes i motivacija učenika potiče se temama iz realnog svijeta te povezanošću sa životnim iskustvima, životnim očekivanjima te raznolikošću sadržaja, mjesta ali i samih metoda poučavanja. Prirodoslovno područje treba omogućiti da svaki učenik razvije interes za prirodne znanosti kao poticaj za širenje svoje znatiželje i znanja te ga potaknuti na razmišljanje o uzrocima i posljedicama pojava koje se javljaju u svijetu u kojem živi. Učenik bi trebao razumijeti prirodne zakone Zemlje i njezina položaja u svemiru, pokazati razumijevanje principa znanstvenog istraživanja, kreativnost, poduzetnost, odgovoran odnos prema prirodi i poštovanje različitosti, primjenu integriranog prirodoznanstvenog istraživanja. Učenje i poučavanje prirodoznanstvenih nastavnih sadržaja integrirano je u četiri domene: *Organiziranost prirodnih sustava, Procesi i međudjelovanja u prirodi, Energija i Prirodoznanstvenodoznanstveni pristup*. Prirodoznanstveno pismen učenik upotrebljava savladane (usvojene) znanstvene koncepte, metode i postupke za rješavanje problema i donošenje odluka u svakodnevnom životu te cjeloživotnim učenjem odgovara na nove izazove.

2.1.8. Općenito o novom osnovnoškolskom nastavnom programu kemije

U siječnju 2019. godine uveden je novi (suvremeniji) pristup poučavanju kemije. Dokument s koji definira ovaj pristup nosi naziv: „Kurikulum nastavnog predmeta kemije za osnovne škole i gimnazije“.^[53] Svrha uvođenja novog pristupa je jasno predočavanje temeljnih kemijskih koncepata i njihova primjenu. Učenje kemije i dalje se temelji na stjecanju znanja kognitivnim procesima percepcije (opažanje), prikazivanjem opaženog te analizom i izvođenjem zaključka. I u novom pristupu koristi se znanstveno-istraživački pristup u kojem je kemijski pokus i dalje temeljna nastavna aktivnost te se još uvijek želi postići razvoj samoostvarene mlade osobe, željne daljnjeg obrazovanja koja se savjesno odnosi prema svojem cjelokupnom životnom okruženju. Sam kemijski pokus omogućuje učenicima da do novih saznanja dolaze aktivnim metodama učenja razvijajući pritom svoje sposobnosti praktičnim, misaonim i perceptivnim djelovanjem.

Uvođenjem novog pristupa izdvaja se nekoliko odgojno-obrazovodgojno-obrazovnih ciljeva učenja kemije. Neki od njih su:

- razumijevanje i komuniciranje o temeljnim kemijskim pojmovima,
- usvajanje i primjena kemijskog nazivlja i simbolike,

- razvijanja principa znanstvenog i etičkog pristupa istraživanju i rješavanju kemijske problematike.

Primjenom novog principa poučavanja uvedena su i četiri nova koncepta odnosno organizacijska područja predmetnog kurikuluma. Radi se o konceptima:

- *Tvari*,
- *Promjene i procesi*,
- *Energija*,
- *Prirodnoznanstveni pristup*.

Zbog ovakve podjele na koncepte, njima pripadajući nastavni sadržaji i obrazovna postignuća često su izmiješani i teško ih je razdvojiti što otežava organiziranje nastave i značajno utječe na postupak vrednovanja. Tri organizacijska područja kurikuluma *Tvari*, *Promjene i procesi* te *Energija* objedinjuju sve bitne kemijske teme, a koncept *Prirodnoznanstveni pristup* uveden je kako bi se potaknuo razvoj eksperimentalnih i matematičkih vještina učenika. Koncept *Tvari* podrazumijeva razumijevanje građe atoma i molekula, ali i složenih, biološki važnih, makromolekula i kristala. Poznavanje građe omogućuje predviđanje fizikalnih i kemijskih svojstava i njihovu kasniju primjenu. Koncept *Promjene i procesi* podrazumijeva razumijevanje svih kemijskih i fizikalnih promjena pomoću kojih se mogu objasniti i najsloženiji mehanizmi i procesi. Razumijevanjem kemijskih promjena postaje lako objasniti i doseg, brzine kemijskih reakcija, kemijsku ravnotežu odnosno iskazati sastav određenih uzoraka, a samim time i iskoristivost brojnih tehnoloških procesa. Koncept *Energija* pomaže prilikom razumijevanja samih prirodnih procesa i razvoja tehnologije. Razumijevanjem izmjene energije između različitih sustava i njihove okoline dolazi se do podataka o samom stanju reaktanata i produkata. Koncept *Prirodnoznanstveni pristup* ističe se prilikom interpretacije rezultata. Opažene promjene potrebno je analizirati, dobivene podatke matematički obraditi te same rezultate jasno interpretirati i prikazati. Sam koncept *Prirodnoznanstveni pristup* uključuje i razvijanja same prirodoslovne pismenosti koja je važna za razumijevanje samih metoda znanstvenog istraživanja, usvajanja znanstvene komunikacije te usvajanje samog prirodnoznanstvenog pogleda.

Novi predmetni kurikulum se sastoji od:

- odgojno-obrazovnih ishoda,
- razrade ishoda,
- odgojno-obrazovnih ishoda na razini ostvarenosti „dobar“ na kraju razreda,

- sadržaja,
- preporuka za ostavarivanje odgojno-obrazovnih ishoda.

Za razliku od starog osnovnoškolskog nastavnog programa u kojem su se odgojno-obrazovni ishodi određivali prema sadržaju odnosno prema nastavnoj temi u novom osnovnoškolskom nastavnom programu odgojno-obrazovni ishodi složeni su prema konceptima koji se obrađuju tijekom učenja kemije. Glavni cilj je u potpunosti realizirati zadane odgojno-obrazovne ishode pri čemu je učitelju ostavljeno na izbor da sam odabere redosljed obrade. Svaki odgojno-obrazovni ishod je dalje podjeljen na manje podskupine koje detaljnije navode što bi učenik trebao moći učiniti nakon obrade nastavnih sadržaja te osim toga i na pokazatelj ostvarenosti odgojno-obrazovnih ciljeva na razini „dobar“ koji služi kao okvir za procjenu ostvarenosti i razumijevanja pojedinog ishoda na kraju razreda. Navedeni sadržaj je kratak opis onoga što je potrebno učiti i poučavati na pojedinoj godini i prilagođen je uzrastu učenika, a važan je za razumijevanje svakog pojedinog koncepta (*Tvari, Promjene i procesi, Energija* i Prirodnoznanstveni pristup) predmetnog kurikuluma. Na samom kraju se nalaze preporuke za ostvarenje odgojno-obrazovnih ishoda.

2.1.9. Odgojno-obrazovni ishodi u sedmom razredu osnovne škole

Koncept *Tvari* je podijeljen na tri odgojno-obrazovna ishoda:

- KEM OŠ A.7.1. Istražuje svojstva i vrstu tvari,
- KEM OŠ A.7.2. Primjenjuje kemijsko nazivlje i simboliku za opisivanje sastava tvari,
- KEM OŠ A.7.3. Kritički razmatra upotrebu tvari i njihov utjecaj na čovjekovo zdravlje i okoliš.

Koncept *Promjene i procesi* podijeljen je na dva odgojno-obrazovna ishoda:

- KEM OŠ B.7.1. Analizira fizikalne i kemijske promjene,
- KEM OŠ B.7.2. Istražuje razliku u brzinama različitih promjena.

Koncept *Energija* podijeljen je na tri odgojno-obrazovna ishoda:

- KEM OŠ C.7.1. Analizira izmjenu energije između sustava i okoline,
- KEM OŠ C.7.2. Povezuje promjene energije unutar promatranoga sustava s makroskopskim promjenama,
- KEM OŠ C.7.3. Procjenjuje učinkovitost i utjecaj različitih izvora energije na okoliš.

Koncept Prirodnoznanstveni pristup podijeljen je na tri odgojno-obrazovna ishoda:

- KEM OŠ D.7.1. Povezuje rezultate i zaključke istraživanja s konceptualnim spoznajama,
- KEM OŠ D.7.2. Primjenjuje matematička znanja i vještine,
- KEM OŠ D.7.3. Uočava zakonitosti uopćavanjem podataka prikazanih tekstem, crtežom modelima, tablicama grafovima.

Ako se analizira jedan odgojno-obrazovni ishod iz sedmog razreda osnovne škole o istom se može zaljučiti sljedeće. Primjer: KEM OŠ C.7.1. *Analizira izmjenu energije između sustava i okoline*. Odabrani ishod pripada konceptu *Energija*. Isti je podijeljen na jednostavnije ishode, a to su: razlikuje temperaturu od topline, razlikuje pojmove okolina i sustav, opisuje fizikalne i kemijske promjene tijekom kojih dolazi do izmjene energije između sustava i okoline i uočava razliku između endotermnih i egzotermnih promjena mjerenjem temperature. Odgojno-obrazovni ishod na razini ostvarenosti „dobar“ na kraju razreda je: opisuje fizikalne i kemijske promjene tijekom kojih dolazi do izmjene energije između sustava i okoline na primjerima iz svakodnevnog života. Dok je sadržaj koncepta *Energija* u sedmom razredu osnovne škole sljedeći: egzotermne i endotermne promjene, izmjena energije kao topline i pretvorbe energije.

2.1.10. Odgojno-obrazovni ishodi u osmom razredu osnovne škole

Koncept *Tvari* je podijeljen na tri odgojno-obrazovna ishoda:

- KEM OŠ A.8.1. Primjenjuje kemijsko nazivlje i simboliku za opisivanje sastava tvari,
- KEM OŠ A.8.2. Povezuje građu tvari s njihovim svojstvima,
- KEM OŠ A.8.3. Kritički razmatra upotrebu tvari i njihov utjecaj na čovjekovo zdravlje i okoliš.

Koncept *Promjene i procesi* podijeljene je na tri odgojno-obrazovna ishoda:

- KEM OŠ B.8.1. Primjenjuje kemijsko nazivlje i simboliku za opisivanje promjena,
- KEM OŠ B.8.2. Analizira vrste kemijskih reakcija,
- KEM OŠ B.8.3. Analizira brzine kemijskih promjena.

Koncept *Energija* podijeljen je na dva odgojno-obrazovna ishoda:

- KEM OŠ C.8.1. Analizira izmjene energije pri fizikalnim i kemijskim promjenama na čestičnoj razini,
- KEM OŠ C.8.2. Procjenjuje učinkovitost i utjecaj različitih izvora energije na okoliš.

Koncept Prirodosnanstveni pristup podijeljene je na tri odgojno-obrazovna ishoda:

- KEM OŠ D.8.1. Povezuje rezultate i zaključke istraživanja s konceptualnim spoznajama,
- KEM OŠ D.8.2. Primjenjuje matematička znanja i vještine,
- KEM OŠ D.8.3. Uočava zakonitosti uopćavanjem podataka prikazanih tekстом, crtežom, modelima, tablicama i grafovima.

Ako se analizira jedan odgojno-obrazovni ishod iz osmog razreda osnovne škole o istom se može zaljučiti sljedeće. Primjer: KEM OŠ C.8.1. *Analizira izmjene energije pri fizikalnim i kemijskim promjenama na čestičnoj razini.* Odabrani ishod ubraja se u koncept *Energija*. Isti je podijeljen na nekoliko jednostavnijih ishoda, a oni su: *opisuje pretvorbe i izmjene energije pri fizikalnim i kemijskim promjenama na primjerima kemijskih reakcija i analizira pretvorbe i izmjene energije pri fizikalnim i kemijskim promjenama na čestičnoj razini.* Odgojno-obrazovni ishod na razini ostvarenosti „dobar“ na kraju razreda je: *opisuje promjene pri pretvorbi i izmjeni energije tijekom fizikalnih i kemijskih promjena.* Dok je sadržaj koncepta *Energija* u osmom razredu osnovne škole sljedeći: *iskoristivost pretvorbe energije na primjerima različitih kemijskih promjena.*

2.1.11. Prednosti i mane novog osnovnoškolskog nastavnog programa kemije

Novi osnovnoškolski nastavni program kemije primjenjuje se tek dvije godine, no usprkos činjenici da je program vrlo kratko u primjeni već na samom početku uočene su određene promjene između starog i novog pristupa poučavanju nastavnog predmeta. Sama svrha uvođenja novog pristupa je jasno predočavanje temeljnih kemijskih koncepata i njihova daljnja primjena kao i razumijevanje znanstvenog i etičkog pristupa istraživanju i rješavanju kemijske problematike. Kao jedna od najvažnijih prednosti novog pristupa je individualizirani pristup poučavanju svakog učenika te se prema službenim izjavama nakon samo dvije godine primjene uvidjelo da ovakav pristup uvelike doprinosi razvoju učenikovih sposobnosti. Učenicima se razvija znanje, solidarnost, poštovanje, odgovornost i prosocijalno ponašanje. Učenici primjenjuju aktivni pristup rješavanja problema u vlastitom životu i životu zajednice. Osim

promjene kod učenika promjene se događaju i kod samih učitelja. Učitelj primjenom novog pristupa dobiva veću slobodu prilikom planiranja i izvedbe procesa poučavanja, dobiva veću slobodu u načinu realiziranja zadanih ciljeva i ishoda te u izboru aktivnosti i sadržaja pazeći na individualne razlike učenika pri čemu do posebnog izražaja dolazi maštovitost i kreativnost samih učitelja. Osim navedenih pozitivnih promjena kao negativna se može istaknuti činjenica da je na učiteljima mnogo veća odgovornost prilikom postizanja što kvalitetnijih uvjeta učenja i poučavanja koji često, nažalost, ipak ne ovise samo o njima, ali i postizanje što aktivnije uloge samih učenika pri čemu je na učitelju velika odgovornost da učenika što više zainteresira za učenje novih spoznaja. Velika odgovornost učitelja je i na razvijanju prirodnoznastvene pismenosti učenika koja će uvelike koristiti učenicima u daljnjem nastavku školovanju kao i prilikom početka profesionalne karijere. Zašto je to posebno važno? Prirodnoznastveno pismen čovjek sposoban je naučene znanstvene koncepte, metode, kao i postupke rješavanja problema i donošenja odluka upotrebljavati u vlastitiom životu te će pomoću pristupa cjeloživotnog učenja biti sposoban odgovoriti na velik broj novih, svakodnevnih izazova s kojima će se susresti u svakodnevnom životu.

2.2. OBJAŠNJENJE NASTAVNOG SATA

2.2.1. Korisnost vode

Voda je polarni anorganski spoj, koji je pri sobnoj temperaturi tekućina bez mirisa i okusa, gotovo bezbojna. Voda je najzastupljeniji spoj koji prekriva čak 71 % Zemljine površine na kojoj je pronalazimo u sva tri agregacijska stanja: krutoj, tekućoj i plinovitoj. Molekule vode sastoje se od dva vodikova atoma i jednog atoma kisika koji su povezani kovalentnim vezama. Kemijska formula vode stoga je H_2O . Ledište vode je pri $0\text{ }^{\circ}C$ (273 K), a vrelište pri $100\text{ }^{\circ}C$ (373 K). Voda je dobro otapalo za polarne spojeve te čini dvije trećine ljudskog organizma. Radi se o vrlo jednostavnom anorganskom spoju za koji se često kaže da je i „univerzalno otapalo“ i „otapalo života“ jer je potrebna kako u životnim procesima tako i u brojnim industrijskim procesima i strojevima poput parnih turbina ili izmjenjivača topline.

Molekule vode međusobno tvore snažne vodikove veze što snažno utječe na njezina specifična fizikalna i kemijska svojstva. Vodikova veza nastaje međusobnim privlačenjem i spontanom usmjeravanjem molekula tako što se, zbog polarnosti molekula, njihovi dijelovi s povećanom elektronskom gustoćom (elektronegativni atomi kisika) združuju s dijelovima susjednih

molekula na kojima je manjak elektronske gustoće (elektropozitivniji atomi vodika) susjednih molekula vode. Vodikove veze između susjednih molekula vode neprekidno pucaju i ponovno se oblikuju. S obzirom na to da je svaka molekula vode u tekućem stanju povezana s oko $3 \frac{1}{2}$ susjednih molekula to rezultira nastajanjem velike trodimenzijske mreže koja je u čvrstom stanju (u ledu) vrlo pravilna i sadrži heksagonske šupljine. Upravo zbog tih vodikovih veza voda i ima specifična svojstva pa je jedna od njih i manja gustoća leda u odnosu na tekuću vodu, dakle kruta faza, odnosno led, pluta na površini svoje tekuće faze. Kada se voda polagano hladi, krenuvši primjerice od sobne temperature, gustoća će joj rasti (jer se volumen smanjuje). No, gustoća će pri praktički $4 \text{ }^\circ\text{C}$ dosegnuti svoj maksimum te će se daljnjim hlađenjem do točke smrzavanja (ledišta) početi smanjivati. Ta pojava se naziva anomalija vode. Vodikove veze nisu odgovorne samo za „anomaliju“ vode nego zbog njih voda, iako je izgrađena od maloh molekula, male mase, ima i relativno visoko vrelište i veliki toplinski kapacitet (u odnosu na svoje strukturne analoge H_2S , H_2Se , H_2Te). Sva nabrojana svojstva vode su ključni preduvjeti za očuvanje života na Zemlji.

2.2.2. Nastavni sat

2.2.2.1. Potrebni materijale i metode za izradu nastavnog sata

Pokus: „Kad je voda najgušća?“

Pribor: staklena čaša od 250 mL, 2 termometra, metalni stativ, metalni prsten, stezaljka, deblji konac

Kemikalije: voda, 5 grumeni leda

Ključna opažanja tijekom pokusa:

tekuća voda ima veću gustoću od leda
najveća gustoća vode je pri $4 \text{ }^\circ\text{C}$

Glavni nastavni cilj:

povezati kako je za specifična svojstva vode odgovorno jako dipol–dipol međudjelovanje (vodikova veza) između molekula vode

Razred: 7 razred osnovne škole

Oblik rada: grupni rad

Nastavna cjelina: Zrak, voda i tlo – tvari neophodne za život

Nastavna tema: Voda

Voda u svakodnevnom životu:

Uloga vode u svakodnevnom životu je mnogoznačna: ona je ključna potreba, dom (stanište), lokalni i globalni resurs, prometni koridor i regulator klime. No, nažalost, posljednja dva stoljeća postala je krajnje odredište onečišćujućih tvari koje se ispuštaju u okoliš i novootkriveni rudnik bogat mineralima koje treba iskorištavati.

Prethodno potrebne vještine, znanja, sposobnosti:

rukovati kemijskim posuđem i priborom

prepoznati tip kemijske veze

razlikovati molekulske od ionskih spojeva

interpretirati grafičke podatke – vrelište tvari

prikazati strukturnom formulom molekulu vode

povezati rezultate pokusa s konceptualnim spoznajama

Izlazni ishodi:

- povezati makroskopska fizikalna svojstva tvari s njezinom građom na atomsko-molekularnoj razini (i obrnuto)

- povezati građu tvari s određenim specifičnim kemijskim svojstvima tvari

Procjena opasnosti i rizika: Paziti prilikom rukovanja s staklenim kemijskim posuđem.

Povezane nastavne jedinice (pokusi):

Nastavne sadržaje može se povezati s ispitivanjem svojstava kemijski čiste vode primjerice s pokusom ispitivanja utjecaja otopljenih tvari na vrelište i ledište vode. Može se povezati s površinskom napetosti vode.

Tijek nastavnog sata:

Učenici su podijeljeni u skupine. Svaki učenik ima svoj primjerak radnog listića, a svaka skupina po jedan pribor za izvođenje pokusa. Radni listić je napravljen tako da vodi učenike i učitelja kroz cijeli sat. Na samom početku nastavnog sata učitelj provjerava, zajedno s učenicima, jesu li svi dobili potreban pribor za pokus koji će trebati izvesti tijekom nastavnog sata. Učitelj zajedno s učenicima komentira moguće rizike i opasnosti do kojih bi moglo doći prilikom izvedbe pokusa. Učitelj pita učenike imaju li nejasnoća u vezi uvodnog dijela. Ako nema pitanja i ako je uvodni dio objašnjen, učenici prelaze na rješavanje radnog listića. Učenici prvo trebaju odgovoriti na PITANJE 1 i PITANJE 2 kako bi se prisjetili agregacijskih stanja tvari i molekulskih i ionskih spojeva. U ovom dijelu cilj je, u raspravi koju vodi učitelj, zaključiti da među molekulama vode, etanola i naftalena postoje privlačna međudjelovanja i da su ona različite jačine. Slijedi proučavanje dijagrama koji prikazuje kako se mijenjaju vrelišta 16 različitih tvari koje su sve spojevi s vodikom. PITANJE 3 traži da se identificira tvari s najvišim (voda) i najnižim vrelištem (metan). PITANJE 4 navodi učenike da prepoznaju da se u dijagramu nalaze četiri niza tvari od kojih svaki pripada jednoj skupini periodnog sustava elemenata (14., 15., 16. i 17. skupina periodnog sustava elemenata). PITANJE 5 zahtijeva da učenici crtežom prikažu građu molekula prvih članova svakog niza i nakon toga izrade trodimenzijske modele molekula (ZADATAK 1). Slijedi PITANJE 6 kojim treba konstatirati da je građa ostalih molekula u nizu jednaka građi prvog člana i potom PITANJE 7 kojem je cilj naglasiti da u tri niza prva tvar ima više vrelište u odnosu na ostale članove niza (to jedino ne vrijedi za niz s metanom). U konačnici, učenici, uz navođenje učitelja, trebaju zaključiti (otkriti) da je upravo građa određenog spoja na atomsko-molekularnoj razini odgovorna za fizikalna (i kemijska) svojstva tog spoja. Nakon toga slijedi PITANJE 8 koje usmjerava učenike na toplinu

(energiju) koja je nužna za isparavanje i potom na temelju PITANJA 9 objasniti razlike u vrelištima prvih članova pojedinih nizova, tj. zaključiti da su kod vode, fluorovodika i amonijaka međumolekulska privlačenja očito jača (ZADATAK 2). Pri tome je bitno uočiti da neke molekule ne izgledaju jednako kada ih se gleda iz različitih smjerova, a druge (metanov niz) izgledaju. To je trenutak u kojem nastavnik može povezati sadržaje nastave matematike i razvrstati molekule kao simetrične i nesimetrične. U sljedećem dijelu nastavnog sata, kojeg vodi nastavnik uz pomoć ppt-prezentacije, učenici na temelju tablice koeficijenata elektronegativnosti zaključuju o utjecaju vrste središnjeg atoma na svojstva molekula. O samoj elektronegativnosti učenici ne moraju znati pojedinosti, već koeficijent trebaju shvaćati kao kvalitativnu informaciju koja im služi za usporedbu svojstava različitih atoma i posljedično molekula koje čine.

Slijedi POKUS 2 kojem je cilj prikupljanje podataka na temelju kojih će se zaključiti kada je gustoća vode najveća (PITANJE 10). PITANJE 11 usmjerava raspravu prema strukturi leda i uzrocima anomalije vode. PITANJA 12 i 14 su usmjerena na primjenu usvojenih činjenica i donošenje općih zaključaka o značaju anomalije vode. Od učenika se očekuje da komentiraju strukturu leda, da pretpostave što se događa s tekućinama kada ih zagrijavamo, a što se događa kada vodu ostavimo u zamrzivaču nekoliko dana te zaključno o utjecaju anomalije vode na životne procese.

2.3. ZAKLJUČAK METODIČKOG DIJELA

Novi nastavni program (kurikulum) napisan je drugačije i na određen način detaljnije nego stari. U njegovom uvodnom dijelu opisan je predmet i svrha učenja kemije te su nabrojene mnoge vještine i sposobnosti koje učenici mogu razviti baveći se kemijom. U tom dijelu nema sadržajno značajnijih razlika u odnosu na stari nastavni program. U nastavku dokumenta navedeni su temeljni odgojno-obrazovni ciljevi učenja i poučavanja kemije.

Nastavak dokumenta posvećen je strukturi novog nastavnog programa kemije koji je podijeljen na četiri koncepta. Takva podjela za nastavu kemije, a i samu kemiju, nije u najbolja, ali je nastala kao posljedica ujednačavanja koncepata srodnih nastavnih predmeta. Na temelju ranijeg istraživanja provedenog tijekom eksperimentalnog programa HNOS-a utvrđeno je da je taj program bio sadržajno dobro koncipiran te da je zamišljena nastavna strategija učenja otkrivanjem usmjerena na učenike bilo bi logičnije da je reforma provedena u smislu popravljivanja tog programa, a ne preraspodjele nastavnih sadržaja na četiri nova koncepta, od

kojih je jedan (prirodoznanstveni pristup) zapravo nadređen trima ostalima (što nužno dovodi do preklapanja nastavnih sadržaja i nepovoljno utječe na kvalitetu procesa vrednovanja ostvarenih obrazovnih postignuća. Kako prirodoznanstveni pristup kao koncept objedinjuje prva tri i ima za cilj pratiti razvoj eksperimentalnih i matematičkih vještina učenika, tj. razvoj njihove prirodoslovne pismenosti, bilo bi bolje da je postavljen kao temelj nastavne prakse, a ne njezin usputni dio. Prirodoslovna pismenost treba biti posljedica procesa odgoja i obrazovanja, a podrazumijeva stjecanje vještina znanstvene komunikacije, interpretacije podataka i razumijevanje metoda znanstvenog istraživanja i ne ovisi samo o jednom nastavnom predmetu.

Nastavni program kemije prema HNOS-u za oba razreda postavio je 249 obrazovnih postignuća, što je prihvatljivo jer zapravo se ne očekuje više usvajanja dva nova obrazovna postignuća na jednom nastavnom satu. Glavni problem nastavnog programa prema HNOS-u bio je nedosljedna uporaba glagola (jer je nešto više od trećine obrazovnih postignuća njima definirano na neprikladan način). Nova reforma trebala je iskoristiti postojeći program i doraditi ga, a ne ga nepotrebno (i na žalost nepregledno) preslagivati. Time bi se značajno ubrzao proces reforme i postiglo lakšu implementaciju u nastavnu praksu (svakodnevicu). Osim toga, i serdnjoškolski nastavni programi time bi imali čvršće uporište, na kojem bi u praksi bilo lakše postići željenu promjenu.

Ključne kemijske ideje oko kojih je trebalo organizirati novi nastavni program su:

- postojanje atoma i molekula (atomska-molekulska razina građe tvari),
 - povezanost atoma (što atome drži na okupu u tvarima i kako to utječe na kvalitetu tvari),
 - oblik molekula (trodimenzionalnost kemije),
 - kinetička teorija (gibanje atoma i molekula),
 - kemijska promjena (kemijska reakcija, kako dolazi do promjene kvalitete tvari) te
 - energijske promjene (kako je energija povezana s promjenom kvalitete tvari¹). i Entropije.
- Temeljna razlika koju donosi novi nastavni program (u odnosu na stari) je raspisanost obrazovnih ishoda kojima se pokušava definirati očekivana učenička postignuća (u smislu vrednovanja na razini usvojenosti dobar). Pri tome su obrazovni ishodi definirani uporabom nesvršenog prezenta mjerljivog glagola u trećem licu jednine (navodi, opisuje, razmatra, razlikuje...). Za to su sigurno postajali neki razlozi, ali bi zasigurno bilo bolje da su obrazovna

¹ Ovdje je inače nužno navesti i pojam entropije (jer je neodvojiv od ideje izmjene energije između sustava i okoline), no ovdje nije spomenut jer je prikladniji za više uzraste.

postignuća definirana uporabom infinitiva glagola. Na taj način bila bi čitljivija i učenicima i roditeljima i nastavnicima jer bi bila izravno usmjerna na ono što će učenik biti ispitivan, tj. na način kojim će učenikova postignuća biti vrednovana. Realizacija odgojno-obrazovnih ishoda je obvezna, ali se učiteljima ostavlja sloboda u redosljedju njihove obrade. U odnosu na prijašnje nastavne programe (HNOS i raniji), to nije ništa novoga. Uz odgojno-obrazovne ishode, navode se i sadržaji na razini koncepta za pojedinu godinu učenja. Sadržaj je „kratak opis onoga što je obvezno učiti i poučavati i bitan je za postizanje dubinskog razumijevanja koncepta predmetnoga kurikulumu.” S jedne strane to je dobro, ali se je djelomično u sukobu s pretpostavljenom slobodom.

Hoće li predloženi nastavni program zaživjeti u nastavi te kada i pogotovo kako, uglavnom će ovisiti o praktičarima i njihovoj procjeni mogućnosti njihovih učenika. Jedino praktičari mogu ostvariti reformu, jer se ona mora dogoditi u razredu (u praksi), a ne na papiru. U tom smislu pogreške u dizajnu novog nastavnog programa kemije, možda i neće biti štetne.

3. LITERATURNI IZVORI

- [1] J. L. Atwood, J. W. Steed, *Supramolecular Chemistry*, Wiley, **2009**.
- [2] J.-M. Lehn, *Perspectives in supramolecular chemistry—from molecular recognition towards molecular information processing and self-organization*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **1990**, *29*, 1304.
- [3] B. B. Koleva, T. Kolev, R. W. Seidel, M. Spiteller, H. Mayer-Figge, W. S. Sheldrick, *J. Phys. Chem. A*, **2009**, *113*, 3088.
- [4] Jean-Marie Lehn, *Science*, **1993**, *5115*, 1762.
- [5] T. Lijić, *Supramolekulske arhitekture u kompleksima metala*, završni rad, Kemijski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2016.
- [6] G. R. Desiraju, *Supramolecular synthons in crystal engineering—a new organic synthesis*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **1995**, *34*, 2311.
- [7] M. Simard, D. Su, J. D. Wuest, *J. Am. Chem. Soc.* **1991**, *113*, 4696.
- [8] J. A. Perman, J. J. Perry IV, M. J. Zaworotko, *Chem. Soc. Rev.* **2009**, *38* 1400.
- [9] B. Kojić-Prodić, K. Molčanov, *Acta Chim. Slov.* **2008** *55* 692.
- [10] G. R. Desiraju, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2007**, *46*, 8342.
- [11] G. Cavallo, P. Metrangolo, R. Milani, T. Pilati, A. Priimägi, G. Resnati, G. Terraneo, *Chem. Rev.*, **2016**, *116*, 2478.
- [12] G. R. Desiraju, R. Parthasarathy, *J. Am. Chem. Soc.* **1989**, *111*, 8725.
- [13] D. Chopra, *Cryst. Growth Des.*, **2012**, *12*, 541.
- [14] N. Bedeković, V. Stilinović, T. Piteša, *Cryst. Growth & Des.*, **2017**, *17*, 5732.
- [15] H. Koshima, M. Miyauchi, M. Shiro, *Supramol. Chem.*, **2006**, *13*, 137.
- [16] B. H. Chen, J. T. Liu, W. X. Chen, H. M. Chen, C. H. Lin, *Talanta* **2008**, *74*, 512.
- [17] S. D. Brandt, S. Freemanb, P. McGagha, N. Abdul-Halim, J. F. Alder, *J. Pharm. Biomed. Anal.* **2004**, *36*, 675.
- [18] D. E. Nicholas, *Pharmacol. Ther.* **2004**, *101*, 131.
- [19] S. L. Hill, S. H. Thomas, *Clin. Toxicol.* **2011**, *49*, 705.
- [20] R. Tittarelli, G. Mannocchi, F. Pantano, F. Saverio Romolo, *Curr. Neuropharmacol.* **2015**, *13*, 26.
- [21] M. Schmitt, K. Feng, M. Böhm, K. Kleinermanns, *J. Chem. Phys.* **2006**, *125*, 220.
- [22] S. Gibbons, *Clin. Toxicol.* **2012**, *50*, 15.
- [23] R. S. Jones, *Prog. Neurobiol.* **1982**, *19*, 117.
- [24] R. A. Glennon, M. Lee, J. B. Rangisetty, M. Dukat, B. L. Roth, J. E. Savage, A. McBride, L. Rauser, S. Hufeisen, D. K. Lee, *J. Med. Chem.* **2000**, *43*, 1011.
- [25] L. D. Mohammed-Zahed, L. Moses, S. M. Gwaltney-Brant, *J. Vet. Pharmacol. Ther.* **2008**, *31*, 187.
- [26] J. M. Corkery, E. Durkin, S. Elliott, F. Schifano, A. H. Ghodse, *Prog. Neuropsychopharmacol. Biol. Psychiatry.* **2012**, *39*, 259.
- [27] A. Wohlfarth, W. Weinmann, A. Dresen, *Anal. Bioanal. Chem.* **2010**, *396*, 2403.
- [28] C. Montesano, M. Sergi, M. Moro, S. Napoletano, F. S. Romolo, M. Del Carlo, D. Compagnone, R. Curini, *J. Mass. Spectrom.* **2013**, *48*, 49.
- [29] A. M. Araújo, F. Carvalho, M. De L. Bastos, P. Guedes de Pinho, M. Carvalho, *Arch. Toxicol.* **2015**, *89*, 1151.
- [30] R. J. Mesley, W. H. Evans *J. Pharm. Pharmac.* **1969**, *21*, 713.
- [31] S. P. Vorce, J. H. Sklerov, *J. Anal. Toxicol.* **2004**, *28*, 407.
- [32] L. Yu, *Acc. Chem. Res.* **2010**, *43*, 1257.
- [33] R. J. Mesey, E. E. Houghton, *J. Pharm. Pharmac.* **1967**, *19*, 295.
- [34] K. Genest, L. J. Lowry, *J. Pharm. Pharmac.* **1970**, *22*, 839.
- [35] M. R. Meyer, A. Caspam, S. D. Brandt, H. H. Maurer, *Anal. Bioanal. Chem.* **2014**, *406*, 225.
- [36] R. J. Mesley, W. H. Evans, *J. Pharm. Pharmac.* **1970**, *22*, 321.

- [37] H. Koshima, H. Kawanishi, M. Nagano, H. Yu, M. Shiro, T. Hosoya, H. Uekusa, Y. Ohashi, *J. Org. Chem.*, **2005**, *70*, 4490.
- [38] L. Leiserowitz, M. Weinstein, *Acta Crystallogr. B* **1975**, *31*, 1463.
- [39] H. Koshima, S. Honke, *J. Org. Chem.* **1999**, *64*, 790.
- [40] H. Koshima, S. Honke, J. Fujita, *J. Org. Chem.*, **1999**, *64*, 3916.
- [41] J. Kobayashi, Y. Uesu, *J. Appl. Cryst.*, **1983**, *16*, 204.
- [42] H. Koshima, M. Nagano, T. Asahi, *J. Am. Chem. Soc.* **2005**, *127*, 2455.
- [43] H. Koshima, S. I. Khan, M. A. Garcia-Garibay, *Tetrahedron: Asymmetry*, **1998**, *9*, 1851.
- [44] H. Nowell, J. P. Attfield, J. C. Cole, *Acta Crystallogr., Sect. B: Struct. Sci.*, **2002**, *58*, 835.
- [45] A. Wakahara, T. Fujiwara, K.-I. Tomita, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **1973**, *46*, 2481.
- [46] A. Čavlović, *Triptaminske soli – struktura i svojstva i nastava kemije*, Diplomski rad, Kemijski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2020.
- [47] Nastavni plan i program za osnovnu školu, MZO, 2006.
- [48] <https://www.poslovni.hr/hrvatska/ucenici-eksperimentalnog-programa-bolje-pripremljeni-15674> (pristupljeno 20. travnja 2021.)
- [49] osobno priopćenje mentora
- [50] https://quincycollege.edu/wp-content/uploads/Anderson-and-Krathwohl_Revised-Blooms-Taxonomy.pdf (pristupljeno 20. travnja 2021.)
- [51] <https://mzo.gov.hr/istaknute-teme/odgoj-i-obrazovanje/nacionalni-kurikulum/nacionalni-kurikulum-za-rani-i-predskolski-odgoj-i-obrazovanje/3478>
- [52] <https://mzo.gov.hr/vijesti/kurikularna-reforma-skola-za-zivot/2049> (pristupljeno 20. travnja 2021.)
- [53] https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_01_10_208.html

4. DODATAK

POKUS 1 Ahoj, gle kako se krećem...

Pribor: staklena čaša (250 mL), 2 termometra, metalni stativ, metalni prsten, stezaljka, deblji konac

Kemikalije: voda, 5 kockica leda

KORAK 1 Ulij u staklenu čašu 150 mL vode sobne temperature.

KORAK 2 Na metalni stativ stezaljkom pričvrsti metalni prsten te jedan termometar koncem pričvrsti za metalni prsten, ali na takvu visinu da mjeri temperaturu vode pri vrhu čaše. Drugi termometar također pričvrsti koncem, ali tako da mjeri temperaturu vode pri dnu čaše.

KORAK 3 Na površinu vode u čaši pažljivo dolij 10 mL toplije vode u koju je dodano 2 mL prehrambene boje. Očitaj vrijednosti temperature na oba termometra i upiši ih u tablicu. Potom u čašu, pažljivo na vrh vode, spusti nekoliko komadića leda.

Mjerenja temperature ponovi svakih 5 minuta te svaki par vrijednosti upiši u tablicu. Osim toga, **zabilježi opažanja**.

Prehrambena boja nalazi se na površini vode u čaši. Nakon dodatka komadića leda, prehrambena boja se počinje širiti prema dnu čaše (vidi se gibanje vode prema dnu).

Vrijeme / min	Temperatura na dnu čaše / °C	Temperatura pri vrhu čaše / C
0		
5		
10		
15		

Dok provodiš pokus, odgovori i na sljedeća pitanja.

PITANJE 1 Marko je kod sebe imao uzorke vode, etanola i naftalena. U kojem agregacijskom stanju je bio uzorak pojedine tvari pri sobnoj temperaturi i atmosferskom tlaku?

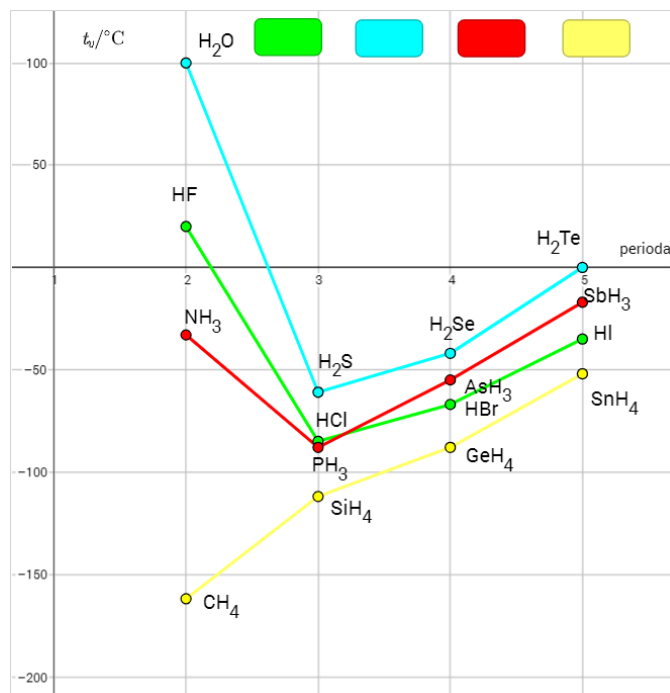
voda _____
etanol _____
naftalen _____

Tekuće, tekuće, kruto.

PITANJE 2 Jesu li tvari koje je imao Marko ionske ili molekulske građe? Objasni svoj odgovor.

Tvari su najvjerojatnije molekulske građe jer su izgrađene od atoma nemetala.

Dijagram prikazuje vrelišta različitih tvari pri čemu su vrelišta nekih tvari povezana linijom iste boje. Prouči dijagram i odgovori na postavljena pitanja.



PITANJE 3 Koja tvar iz prikazanog dijagrama ima najviše vrelište, a koja najniže?

Najviše vrelište ima voda, a najniže metan.

PITANJE 4 Što je zajedničko tvarima čija su vrelišta povezana linijom iste boje?

Svaka boja povezuje niz tvari koje pripadaju istoj skupini periodnog sustava.

PITANJE 5 Prikaži crtežom građu molekula H₂O, HF, NH₃ i CH₄.

Prihvatljiva je bilo koja vrsta prikaza koji prikazuju ispravnu povezanost atoma.

ZADATAK 1 Izradi trodimenzijske modele molekula iz PITANJA 5.

Mogu biti od priručnog materijala izrađeni iz dijelova edukacijskih kompleta (kalotni modeli, kuglice štapići...).

PITANJE 6 Kakva je građa ostalih molekula koje su povezane linijom iste boje u odnosu na svaku prvu molekulu niza?

Imaju jednaku građu (istog su oblika).

PITANJE 7 Po čemu se plavi, zeleni i crveni niz razlikuju od žutog niza?

Kod plavog, zelenog i crvenog niza prva tvar ima najviše vrelište, a kod žutog najniže.

PITANJE 8 Što je potrebno učiniti (i zašto) da neka tekućina ispari?

Potrebno ju je zagrijati (dovesti joj toplinu), da bi se nadvladalo sile koje molekule tekućine drže na okupu.

PITANJE 9 Objasni što je uzrok različitom izgledu plavog, zelenog i crvenog niza u odnosu na žuti.

S obzirom na to da u ova tri niza prve tvari uvijek imaju značajno viša vrelišta očito je da su među njihovim molekulama privlačne sile značajno jače (u odnosu na ostale članove niza).

ZADATAK 2 Prouči postavljene tvrdnje i odgovori na pitanje.

Tvrdnja 1: Kada su molekule izgrađene od atoma kemijskih elemenata koji su po položaju u periodnom sustavu elemenata međusobno udaljeniji, one će biti polarne (ponašat će se kao mali magnetići).

Tvrdnja 2: Kada molekule ne izgledaju jednako sa svih strana, one će biti polarne (ponašat će se kao mali magnetići).

Tvrdnja 3: Što su molekule polarnije, to se međusobno jače privlače.

Tvrdnja 4: Atomi kemijskih elemenata koji se nalaze u gornjem desnom dijelu periodnog sustava (bliže fluoru) više doprinose polarnosti molekula.

Na temelju prikaza molekulske građe (pitanje 5) i izgleda trodimenzijskih modela molekula (pitanje 6) objasni što je uzrok različitom izgledu plavog, zelenog i crvenog niza u odnosu na žuti.

Modeli molekula vode, amonijaka i fluorovodika ne izgledaju jednako gledamo li ih iz različitih smjerova, dok molekule metana izgledaju. Molekule prvih tvari u nizu uvijek sadrže atome koji su po položaju u periodnom sustavu bliži fluoru. Ugljik je, u odnosu na kisik i dušik udaljeniji od fluora. Stoga su molekule vode, amonijaka i fluorovodika polarnije od ostalih molekula u svojim nizovima pa se jače privlače i zato su vrelišta tih tvari viša.

POKUS 2 Kada sam najgušća?

Pribor: epruveta, uska staklena cjevčica, gumeni čep s rupom, 2 laboratorijske čaše (600 mL i 250 mL), ravnalo, termometar, metalni stativ, klema, mufa

Kemikalije: voda, komadići leda leda

KORAK 1 Napuni laboratorijsku čašu od 250 mL sitnim komadićima leda i dolij u nju 150 mL vode. Stavi tako napunjenu laboratorijsku čašu u veliku laboratorijsku čašu (600 mL). Dobro promiješaj sadržaj čaše s ledom i vodom i uz stijenku čaše uroni u smjesu termometar.

KORAK 2 Napuni epruvetu vodom do vrha i začepi je čepom kroz koji prolazi uska staklena cjevčica. Klemom učvrsti epruvetu na stativ i uroni je što više u čašu sa smjesom leda i vode. Promiješaj ponovo sadržaj čaše. Označi nivo vode u uskoj staklenoj cjevčici. Očitaj temperaturu i zabilježi je u tablicu 2 (vrijeme nula).

KORAK 3 Ulij u veliku čašu toplu vodu i počni miješati rashladnu smjesu u maloj čaši. Očitaj temperaturu rashladne smjese nakon svake minute miješanja i označi visinu stupca vode u uskoj staklenoj cjevčici. Očitane temperature rashladne smjese zabilježi u tablicu 2.

KORAK 4 Izmjeri pomake nivoa vode u uskoj staklenoj cjevčici i unesi ih u tablicu 2 pa na temelju nje nacrtaj dijagram ovisnosti nivoa vode u uskoj staklenoj cjevčici o temperaturi rashladne smjese.

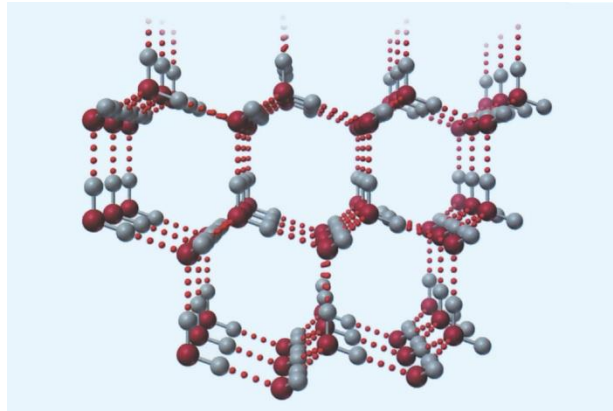
Tablica 2

τ / min	0									
t / °C										
h / mm										

τ / min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t / °C	0,0	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	-2,5	-3,0	-3,5	-4,0	-3,5
h / mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	8

PITANJE 10 Što zaključuješ na temelju izrađenog dijagrama?

Kako je temperatura vode u čaši rasla tako je nivo vode u uskoj staklenoj cjevčici bio sve niži. To znači da je volumen uzorka vode u epruveti i cjevčici bio sve manji. Ako je volumen vode bio sve manji, a masa uzorka se nije mijenjala, to znači da je gustoća vode rasla. No, nakon određene temperature (4 °C) volumen vode ponovo je rastao što znači da je gustoća vode bila sve manja.



Slika 1. Prikaz kristalne strukture leda. Crveno su obojani atomi kisika, a sivo atomi vodika. Crvenim crticama su iscrtkane privlačne interakcije između molekula vode.

PITANJE 11 Slika 1 prikazuje kristalnu strukture leda. Što su bitne karakteristiku te kristalne strukture?

U kristalnoj strukturi leda prisutne su šupljine koje izgledaju kao šesterokutasti kanalići. Osim toga, privlačne interakcije između molekula vode su raspoređene kao da one organiziraju raspored molekula vode u kristalu.

PITANJE 12 Ako ostaviš bocu punu vode u zamrzivaču nekoliko dana, što će se dogoditi? Objasni zašto se to događa?

Ako bocu punu vode ostavimo u zamrzivaču, ona će puknuti jer je led manje gustoće od tekuće vode pa će tijekom smrzavanja doći do porasta volumena i pucanja boce.

PITANJE 13 Kako anomalija vode utječe na održavanje života u morima, jezerima i rijekama zimi. Što bi se dogodilo kad bi gustoća leda bila veća od gustoće vode?

5. ŽIVOTOPIS

Osobni podatci

Ime i prezime: Matea Grabovac

Datum rođenja: 14. travnja 1995.

Mjesto rođenja: Sisak

Obrazovanje

2000–2008 Osnovna škola Novska

2008–2012 Srednja škola Novska (gimnazija)

2012–2018 Prediplomski sveučilišni studij kemije (Sveučilište u Osijeku)

2018–2020 Diplomski sveučilišni studij kemije (smjer nastavnički, PMF SuZ)

Sudjelovanja u popularizaciji znanosti

2014–2018 Otvoreni dan kemije u Osijeku, sudjelovanje u radionici za djecu

2018 Održavanje znanstvenih radionica djeci u vrtićima i osnovnim školama u Osijeku

2017–2019 „Znanstvene čarolije“ (dio studentske sekcije Hrvatskog kemijskog društva), držanje znanstvenih radionica djeci u vrtićima i osnovnim školama