

ATOMSKA APSORPCIONA SPEKTROFOTOMETRIJA I NJENA PRIMENA U ODREĐIVANJU MINERALNOG SASTAVA MLEKA*

Prof. dr. Jovan ĐORĐEVIĆ, Ognjen MAČEJ dipl. inž.,
Poljovrivredni fakultet, Zemun

Instrumentalne metode kvalitativnih i kvantitativnih analiza hemijskih supstanci danas su vrlo brojne i raznovrsne, te zauzimaju značajno mesto u analitičkim istraživanjima. Instrumentalnim analizama meri se neka od fizičkih osobina supstance i na osnovu toga određuje njen hemijski sastav. U poslednje vreme one se sve više primenjuju jer skoro svaka fizička osobina nekog jedinjenja može da bude polazna osnova za razvoj neke instrumentalne tehnike. Osnovni razlog zbog koga instrumentalne analize danas imaju vrlo velikog značaja su ušteda u vremenu, često veća tačnost pri radu, mogućnost analiziranja veoma malih uzoraka i mogućnost da se izbegnu često veoma komplikovana hemijska odvajanja.

Veliki broj analitičkih instrumentalnih metoda rade na principu merenja energije zračenja koja je apsorbovana ili emitovana od strane atoma, molekula ili jona supstance koja se određuje. Jedna od takvih spektralnih analiza je i atomska apsorpciona spektrofotometrija.

Atomska apsorpcija bila je poznata još u XIX veku, ali nije našla praktičnu primenu sve do 1955. godine, kada je australijanac Walsch pokazao da atomska apsorpcija može da se koristi za određivanje nekih metala. To su bili prvi ozbiljniji pokušaji da se nepodesna emisiona tehnika zameni apsorpcionom metodom koja se danas veoma mnogo koristi, u prvom redu za određivanje metala, pa je i njena najveća primena u metalurgiji i neorganskoj hemiji. Zato se ona danas uveliko koristi kao idealna metoda za analiziranje mnogih ruda i minerala, u analizi bioloških uzoraka, a posebno u analizi hrane. Kod analize mineralnog sastava mleka i mlečnih proizvoda, hemijske metode sve više ustupaju mesto raznim instrumentalnim metodama među kojima AAS (atomska apsorpciona spektrofotometrija) zauzima značajno mesto.

Osnovni principi atomske apsorpcije

Poznato je da se neki atom, jon ili mekul može dovesti u pobuđeno stanje dovođenjem potrebne količine energije, pri čemu prelazi na više energetske stanje. Ako je ovo stanje nestabilno višak energije se oslobađa putem zračenja, pri čemu različite frekvence ovakvog zračenja daju emisioni spektar karakterističan za datu supstancu. Sasvim je obrnut slučaj ukoliko je više energetske stanje stabilnije od prethodnog. Tada će izvesne frekvence dovedene energije biti apsorbovane. Na taj način dobija se apsorpcioni spektar opet karakterističan za ispitivanu supstancu.

Kod emisionih tehnika (plamena fotometrija i druge) uzorak odnosno atomi u njemu se ekscitiraju i tek tako pobuđeni emituju karakteristične radijacije za ispitivani element. Pored ovih karakterističnih radijacija atomi emituju

* Referat održan na XX Seminaru za mljekarsku industriju, Zagreb, 1982.

i nekarakteristične pa se zbog toga primenjuje sistem filtera da bi se izvršila potrebna selekcija i odabrale one talasne dužine svetlosti koje analitičaru mogu da posluže u daljem radu. Ova karakteristična emisija svetlosti omogućava nam ne samo kvalitativnu već i kvantitativnu analizu, obzirom da je intenzitet emitovane svetlosti upravo proporcionalan broju atoma ili jona koji je emituju. Odnos broja ekscitiranih prema broju neekscitiranih atoma (N_0) na temperaturi (T) plamena ili električnog luka može se izraziti Boltzmannovom jednačinom na sledeći način:

$$N_j = N_0 \frac{P_j}{P_0} \exp \frac{-E_j - E_0}{kT}$$

gde su, P_j i P_0 statističke težine za stanje energije E_j (pobuđeno stanje) i E_0 (nepobuđeno stanje), a k je Boltzmannova konstanta. Iz izraza se vidi da je pri relativno niskim temperaturama broj ekscitiranih atoma (N_j) znatno manji od broja atoma u osnovnom stanju što ide u prilog primeni apsorpcione spektrofotometrije. Treba naglasiti da je čak i za elemente koji se lako pobuđuju kao što su alkalni metali i kalcijum, deo pobuđenih atoma relativno nizak kao i to da se udeo pobuđenih atoma znatno menja sa promenom temperature. Iz ovoga proizilazi zaključak da je kod emisionih tehnika potrebno koristiti plamen visoke energije što je jedan od ograničavajućih faktora emisione analize.

Kod atomske apsorpcione spektrofotometrije dešava se potpuno obrnut proces pa zato i kažemo da je atomska apsorpcija inverzni postupak od emisije tehnike. Naime, dok u emisionoj tehnici plamen služi kao medijum za stvaranje atoma i istovremeno kao izvor energije za njihovo ekscitiranje, dotle kod atomske apsorpcije plamen isključivo služi za dobijanje plazme neutralnih atoma (atoma u nepobuđenom stanju) koji su sada sposobni da apsorbuju određene vrlo definisane talasne dužine svetlosti i to upravo one koje bi bile emitovane od strane elementa kada bi on bio u ekscitiranom stanju. Pri ovome se vodi računa da se izbegne jonizacija atoma ili ona svede na što moguću manju meru. Na taj način se sprečava kondenzacija tj. ponovno obrazovanje molekulskih čestica (kondenzaciono fazna interferencija). Ova smetnja jednostavno se uklanja regulacijom plamena.

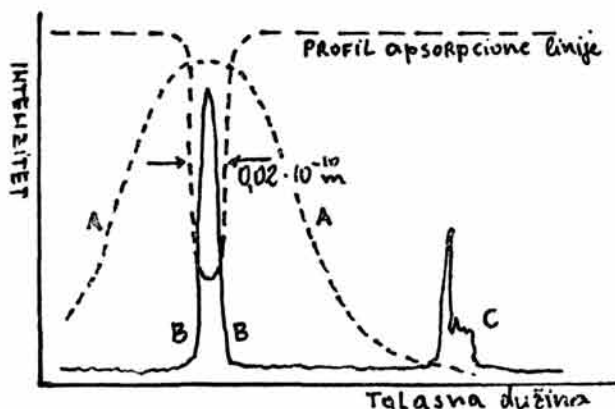
Glavni delovi atomskog apsorpcionog spektrofotometra

Instrument se sastoji iz sledećih delova:

- izvor zračenja
- plamenik
- monohromator
- detektor

Izvor zračenja

Proučavanjem profila apsorpcione linije nekog elementa ustanovljeno je da poluširina takve linije (širina linije na polovini maksimuma intenziteta) iznosi oko $0,02 \cdot 10^{-10}$ m. Da bi mogao tačno da se meri stepen apsorpcije od

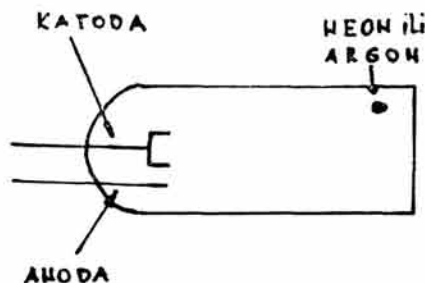


Slika 1

strane ispitivanog elementa, neophodno je da izvor zračenja ispunjava određene uslove: iz izvora zračenja potrebno je izolovati traku čija talasna dužina odgovara sredini apsorpcione linije elementa i čija poluširina ne sme biti veća (čak je poželjno da bude manja) od poluširine apsorpcione linije elementa koji se određuje.

Sa slike 1 se vidi ukoliko se koristi monohromatski zrak poluširine AA, tada veći deo zračenja ne bi bio apsorbovan od strane apsorpcione linije ispitivanog elementa. Međutim, ako koristimo monohromator koji ima malu širinu propusne trake, tada je i stepen apsorpcije emitovanog zraka od strane ispitivanog elementa znatno veći.

Zbog toga se u AAS kao svetlosni izvor za zračenje koriste specijalne lampe (lampe sa šupljom katodom) ili lampe sa električnim pražnjenjem pri visokom pritisku.



Slika 2

Lampa sa šupljom katodom sastoji se od staklenog omotača dužine 15 cm i prečnika 5 cm u kojem je zatopljena metalna katoda i metalna anoda. Katoda je napravljena od elementa koji se određuje. U obliku je valjka prečnika i visine 1 cm, koji je s jedne strane zatvoren. Anoda je u obliku šipke od volframa. Unutrašnji prostor lampe ispunjen je inertnim gasom (neonom ili argonom) u kome vlada potpritisak od 4 mm živinog stuba. Prozor lampe kroz koji prolazi svetlost napravljen je od kvarca ili od posebne vrste stakla (slika 2).

Kad kroz lampu prolazi struja, elektroni sa katode kreću se prema pozitivnoj anodi. Na svom putu oni se sudaraju sa atomima inertnog gasa i jonizuju ih. Ove jone privlači sad katoda. Putujući prema katodi, joni inertnog gasa dobijaju veliku kinetičku energiju koja je dovoljno velika da sa površine katode izbije veći broj atoma. Jedan deo ovih atoma se ekscitira i počinje da emituje karakterističan linijski spektar određenog intenziteta koji će delimično biti apsorbovan od strane atoma elementa koji se određuje.

Optimalna jačina struje koja se dovodi na lampu zavisi od konstrukcije lampe kao i od elementa od koga je izgrađena katoda. Jačina struje najčešće se kreće u granicama od 5—100 mA pri naponu od 100—300 V. Kod mnogih lampi ako se struja poveća iznad određene granice dolazi do pojave samoapsorpcije koja ima za posledicu smanjenje apsorpcije za određenu koncentraciju. Pri ovome deo atoma izbačen sa površine katode koji nije ekscitiran apsorbuje deo energije koju emituju ekscitirani atomi sa katode. Zbog toga je veoma važno odrediti optimalnu struju za svaki tip lampe. Pored lampe sa šupljom katodom koriste se i lampe visokog intenziteta i lampe sa električnim pražnjenjem.

Plamenici

Slobodno se može reći da je najvažniji deo AAS sistem za sagorevanje.

Jedan od najefikasnijih načina da se dobije atomska plazma jeste plamen koji sagoreva. Njegova temperatura zavisi od gasne smeše. Tako na primer, svetao plamen dobijen sagorevanjem propana i vazduha ima temperaturu od 1900 °C, dok sagorevanjem kiseonika i cijanogena može se postići maksimalna temperatura od 4640 °C. Plamen dobijen sagorevanjem vazduha i acetilena ima temperaturu oko 2450 °C i pogodan je za većinu rutinskih analiza kao što je određivanje Mg, Ca, Fe, prelaznih elemenata i dr. U tabeli 1 date su neke važnije smeše za sagorevanje i njihove radne temperature kao i elementi za koje su ove smeše najpogodnije.

Tabela 1

Smeše, temperature i elementi za određivanje

| Naziv smeše | Radne temperature | Elementi koji se mogu odrediti |
|--------------------------------------|-------------------|---|
| Vazduh/vodeni gas | 1800 °C | alkalni metali, Zn, Cu, Cd, Pb |
| Vazduh/propan | 1900 °C | kao gore + drugi isparljivi elementi |
| Vazduh/acetilen (siromašna smeša) | 2300 °C | najbolja za zemnoalkalne metale, pogodna i za mnoge druge |
| Vazduh/acetilen (bogata smeša) | 2300 °C | Sn, Ba, Cr i dr. |
| H ₂ O/acetilen | 2955 °C | Refraktorni elementi: Al, V, Ti, Ta, Be Si i dr. |

Da bi se dobio zadovoljavajući plamen potrebno je da plamenik ispunjava određene uslove:

- stabilnost (apsorpcija mora ostati konstantna za neku datu koncentraciju za duži period)
- osetljivost (apsorpcija za određenu koncentraciju treba da bude maksimalna)
- miran rad (mora da bude tih bez ikakvog treperenja)
- sposobnost analiziranja koncentrovanih rastvora
- ne sme pokazivati efekat memorije (koncentracija jednog uzorka ne sme uticati na rezultate uzorka koji se meri posle njega)
- plamen ne sme apsorbovati svetlo
- kalibracione krive moraju biti u što širem koncentracionom području
- da se jednim plamenikom može odrediti više elemenata
- brzina odgovora (da instrument ima sposobnost brzog registrovanja apsorpcije nakon uvođenja uzorka u plamen)
- dobar plamenik mora biti otporan na koroziju, da se lako čisti i održava.

Monohromator

Uloga monohromatora je da odvoji rezonantnu liniju elementa koji se određuje od ostalih nekarakterističnih radijacija koje emituje lampa sa šupljom katodom. Dobar monohromator mora da poseduje sposobnost rezolucije i sposobnost za energiju. Rezolucija je sposobnost monohromatora da razlikuje dve spektralne linije koje su međusobno razmaknute. Energetska sposobnost monohromatora meri se količinom svetlosti koja može da prođe kroz monohromator.

Detektori

Za merenje stepena apsorpcije služe detektori. U njima se svetlosna energija pretvara u električni signal koji se pojačava i registruje.

Izbor detektora zavisi od njegovog stepena osetljivosti i detekcione granice ispitivanog elementa.

Danas su najčešće u upotrebi tzv. rezonantni detektori. To je jedan fotomultiplikator kombinovan sa sistemom osetljivim samo za rezonantnu liniju elementa za koji je konstruisan. Princip rada je u tome što svetlost iz lampe sa šupljom katodom prolazeći kroz plamen pada na detektor. Fotoni bombarduju atome elemenata koji se ovde nalaze u gasovitom stanju i oni počinju da fluorescenciraju. Normalno na pravac kretanja fotona posatvljen je fotomultiplikator koji registruje fluorescenciju čiji je intezitet proporcionalan intezitetu svetla koje je prošlo kroz plamen, a to znači da je jačina električnog signala proporcionalna koncentraciji elementa koji se određuje.

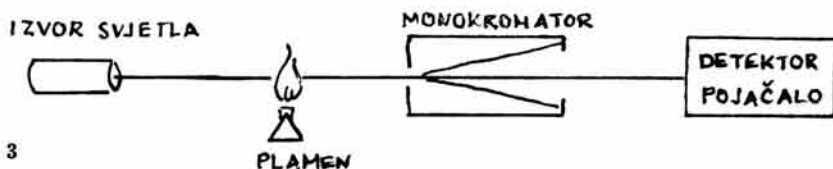
Način rada AAS (atomske apsorpcione spektrofotometrije)

Lampa sa šupljom katodom emituje svetlost koja prolazi kroz plamenik. Istovremeno u plamenik se usisava rastvor ispitivanog uzorka. Pod uticajem visoke temperature uzorak disocira na atome koji su sada sposobni da apsor-

buju deo emitovane energije, odnosno svoju rezonantnu liniju proporcionalno njihovoj koncentraciji. Iza plamenika postavljen je monohromator ili specijalan filter pomoću koga se rezonantna linija odvaja od nekarakterističnih radijacija i registruje na detektoru. Nastali električni signal pojačava se u elektronskom pojačalu a dobijeni rezultati očitavaju na galvanometru ili pisaču (rikorderu). Visina pika na pisaču proporcionalna je koncentraciji ispitivanog elementa.

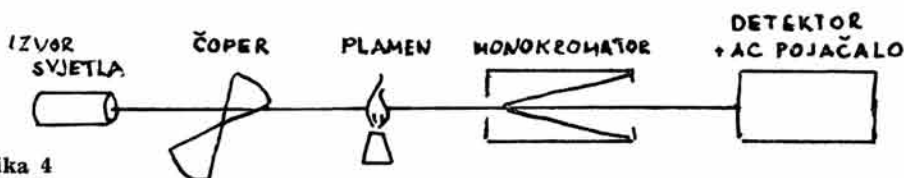
U poslednje tri decenije razvili su se različiti konstruktivni sistemi atomskog apsorpcionog spektrofotometra.

Šema najjednostavnijeg AAS prikazan je na slici 3, a sistem je poznat kao istosmerni sistem sa jednim zrakom. Ovaj sistem ima svojih nedostataka obzirom da detektor nije u mogućnosti da razlikuje fotone koji potiču od lampe sa šupljom katodom i one koje emituje plamen, pa ih oba registruje.



Slika 3

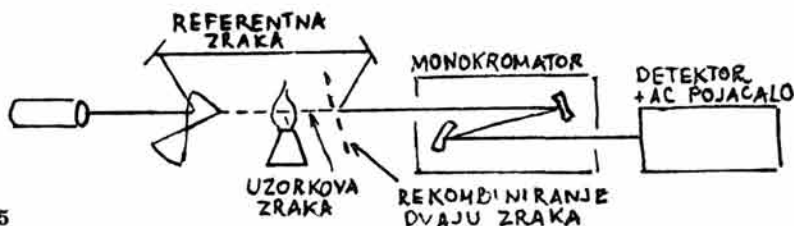
Da bi se otklonio ovaj nedostatak izrađen je sistem kod koga je svetlost iz lampe isprekidana dok plamen zrači kontinuelno. Ovaj sistem je poznat kao naizmjenični sistem sa jednim zrakom, jer isprekidana svetlost na izlazu iz detektora daje signal naizmjenične struje. Elektronski pojačivač je konstruisan tako da pojačava samo naizmjeničnu struju pa na taj način svetlost iz plamenika uopšte ne registruje. Emitovanje isprekidane svetlosti u pravilnim vremenskim intervalima može se postići ugrađivanjem rotirajućeg sektora (choper) između svetlosnog izvora i plamenika ili pak napajanjem lampe pulsirajućim naponom. Na slici 4 prikazana je šema ovog sistema.



Slika 4

Danas se u praksi najčešće može sresti sistem poznat pod nazivom naizmjenični sistem sa dvostrukim zrakom. Umesto rotirajućeg sektora ugrađen je rotirajući reflektorni sektor (sistem ogledala) koji naizmjenično šalje svetlost iz lampe kroz plamenik (uzorkov zrak) i pored plamenika (referentni zrak). Uzorkov i referentni zrak se kasnije rekombinuju pomoću specijalnog polupropustljivog ogledala i prolaze zajedno kroz preostali deo instrumenta. Kod ovog sistema, elektronika je tako podešena da registruje odnos inteziteta ova dva zraka pri čemu intezitet uzorkovog zraka nalazi u brojitelju, a intezitet referentnog zraka u imenitelju. Eventualne promjene u intezitetu lampe, osetlji-

vosti detektora, ili u pojačalu kompenzuju se jer se javljaju podjednako u bro-jitelju i imenitelju. Na slici 5. dat je šematski prikaz aparata sa dvostrukim zrakom.



Slika 5

Ovaj sistem ima svoje prednosti u odnosu na sistem sa jednim zrakom:

- daje stabilnu baznu liniju koja omogućuje da se primete najmanji otkloni koje kod instrumenata sa jednim zrakom nije moguće uočiti
- omogućava veliku preciznost zbog stabilne bazne linije
- lampe se mogu koristiti odmah po uključivanju
- omogućava korištenje široke ekspanzije skale na pisaču.

Međutim, pored ovih prednosti on ima i svoje nedostatke:

- duži optički put zraka kroz instrument
- komplikovanost uređaja zahteva prethodnu dužu obuku analitičara
- aparat je skuplji u odnosu na instrument sa jednim zrakom.

Mogućnost primene AAS u analizi mineralnih materijala

Kod analize makro i mikroelemenata mleka i mlečnih proizvoda, hemijske metode sve više ustupaju mesto raznim instrumentalnim metodama među kojima AAS zauzima značajno mesto.

Razlog zbog čega se ona danas mnogo češće koristi u poređenju sa klasičnim hemijskim metodama ogleda se u sledećem:

- a) Sam postupak određivanja je relativno prost
- b) Velika specifičnost
- c) Niska detekciona granica za veliki broj elemenata, što je veoma značajno kada se radi sa razređenim rastvorima ili sa uzorcima u kojima se elementi, koji se određuju, nalaze u tragovima
- d) Mogućnost da se iz jednog istog rastvora odredi veći broj elemenata
- e) Mogućnost da se veći broj elemenata odredi istim instrumentom
- f) Vremensko trajanje analize je kratko tj. brzina određivanja velika, što je nesumnjivo jedna od najvećih prednosti AAS u odnosu na klasične hemijske metode
- g) Ova metoda omogućava direktno dobijanje rezultata.

Koncentraciono područje u kome se može primeniti AAS je vrlo široko. Tragovi metala se ovom metodom veoma dobro određuju. Isto tako se veoma uspješno analiziraju i uzorci koji u sebi sadrže i do 50% ispitivane komponente.

Pa ipak, koncentracije koje u uzorcima određujemo moraju odgovarati oblasti najveće analitičke tačnosti. Smatra se da je ta oblast obično 20—200 puta veća od vrednosti granice detekcije mada još uvek mogu da se odrede i koncentracije koje su bliske granici detekcije, ali sa manjom tačnošću. Tako, kod određivanja elemenata u tragovima, koji su obično prisutni u količinama bliskim granicama detekcije očekivana greška je proporcionalno veća. Tačnost analize nesumnjivo mnogo zavisi i od toga u kojoj su meri izbegnute smetnje hemijske prirode kao i od pažnje sa kojom je pripremljen uzorak za analizu, naročito kada se određuju komponente prisutne u većim koncentracijama od optimalne za ovu vrstu određivanja.

Pomoću AAS danas se može odrediti veliki broj elemenata. Rezonantne linije većeg broja metala javljaju se u oblasti od 190—850 nm dok su rezonantne linije većine nemetala ispod 190 nm. Kod talasnih dužina ispod 186 nm zapažena je apsorpcija zračenja od strane okolne atmosfere, što onemogućava određivanje većine nemetala, jer izaziva potrebu za evakuisanjem instrumenata. Ovakvi elementi mogu da se odrede i primenom bezplamene tehnike upotrebom grafitne kivete. S druge strane na zračenje iznad 850 nm osetljivi su samo specijalni fotomultiplikatori. Najveća talasna dužina koja se javlja pri ovim određivanjima je ona koja odgovara rezonantnoj liniji cezijuma i iznosi 852 nm.

Neki elementi daju sa određenim anjonima vrlo stabilna jedinjenja koja se ne raspadaju lako u plamenu vazduh/acetilen te je u tom slučaju nemoguće dobiti slobodne atome. Ovo je naročito značajno za Ca koji se u plamenu ne može dokazati, ako je prisutan kao fosfat. Ukoliko je koncentracija fosfata relativno mala ova smetnja može da se kompenzuje dodavanjem istih količina fosfata kalibracionim standardima. Međutim, ova smetnja se može vrlo efikasno otkloniti, bilo da su prisutne velike ili male količine fosfata, ako se doda tzv. »oslobađajući agens« koji ima osobinu da stvara još stabilnije fosfate. Tako na primer, kod određivanja Ca i Mg, kao oslobađajući agens koriste se lantan i stroncijum.

Kod određivanja Sr u prisustvu Si i Al zapaženo je smanjenje apsorpcije od strane Sr. Međutim, kada se ispitivanom rastvoru doda lantan koji ima jako izraženu tendenciju da se veže za Al i Si, ovi elementi više neće uticati na konačan rezultat.

Imajući u vidu da neki elementi, kao što su Zn, Cd, Cu prouzrokuju male smetnje kod određivanja drugih elemenata, ipak je sasvim verovatno da se hemijska smetnja javlja pri svakom određivanju, mada u nekim slučajevima u vrlo maloj meri.

Alkalni metali čak i kada su prisutni u malim koncentracijama u plamenu vazduh/acetilen ili vazduh/propan, potpuno su jonizovani zbog čega ne postoje atomi koji bi mogli da apsorbuju svoje rezonantne linije. Međutim, ako se doda mala količina drugog lako jonizujućeg elementa, jonizaciona ravnoteža se pomera ka stvaranju slobodnih atoma. Na ovaj način se uzajamno pojačavaju Na i K ili bilo koji drugi par alkalnih metala. Zbog ovoga je kod određi-

vanja alkalnih metala pomoću AAS, poželjno da se oni nađu u smeši jedan s drugim. Jedna od karakterističnih smetnji jeste i interferencija osnovne supstance koja je prouzrokovana viskozitetom ili nekim drugim fizičkim svojstvi-
ma rastvora uzorka. Zapaženo je da neki organski rastvarači u uzorku povećavaju apsorpciju dva do četiri puta. Jedna od ovakvih interferencija je i suviše visoka koncentracija supstance koja se određuje čime se smanjuje protok kroz plamenik što za posledicu ima smanjenje apsorpcije. Ova smetnja jednostavno se otklanja razblaživanjem rastvora.

Prilikom analize makro i mikroelemenata u mleku i proizvodima od mleka veoma je bitno da se dobro pripremi uzorak. Određivanje ovih elemenata u sredini u kojoj je prisutna organska supstanca je mnogo složenije nego što je to slučaj sa mineralnim uzorcima. Iz tih razloga se organska materija obavezno mora razoriti. Kod mleka i mlečnih proizvoda priprema pepela je standardna metoda u pripremi uzorka koji će se koristiti u AAS.

Mokro sagorevanje pomoću kiselina ima prednost jer ne pretil opasnost da se volatilne supstance na povišenim temperaturama izgube. U ovu svrhu najčešće se koriste HNO_3 , H_2SO_4 , HF ili smeša HNO_3 i H_2SO_4 u odnosu 1:1.

Danas se uveliko koristi mlečni serum kao polazni uzorak za određivanje važnih katjona u mleku (Ca, Mg, Na, K). Ova metoda popularno se naziva TCA precipitaciona metoda. Vrlo je praktična za rutinske laboratorijske analize relativno velikog broja uzoraka. Precipitacija kazeina vrši se pomoću 24% TCA (trihlorsirćetna kiselina).

U normalan sud od 100 ml sipa se 5 ml mleka. Sa 50 ml 24% TCA istalože su proteini i sud se dopuni do crte sa dejonizovanom vodom. Uzorak se meša u intervalu od 5 minuta u toku pola časa i nakon toga profiltrira. Od tako dobijenog seruma uzme se određena količina i razblaži dejonizovanom vodom deset puta. Zbog depresivnog delovanja fosfata prilikom određivanja Ca i Mg uzorku se doda 500 ppm lantana. Takav uzorak je spreman za analizu. Treba istaći da je utvrđeno da TCA depresivno deluje na apsorpciju Ca te se stoga standardu za kalibraciju instrumenata dodaje 1,2% TCA.

Na kraju možemo zaključiti da se analiza mineralnog sastava mleka i mlečnih proizvoda može veoma dobro izvršiti pomoću apsorpcione tehnike pri čemu se mora voditi računa da se zadovolje određeni uslovi kako bi se dobili pouzdani rezultati. To znači da se pomoću serije standarda, koji se tako pripreme da pokrivaju ispitivanu oblast, ispita osetljivost i reproduktivnost određivanja i napravi kalibracioni ili radni dijagram. Zatim se ispita uticaj ostalih glavnih sastojaka uzorka, pri čemu se ispituje uticaj svakog elementa posebno. Smetnje koje potiču od elemenata čija je koncentracija u uzorcima promenljiva, uklanjaju se pomoću oslobađajućeg agensa, dok se smetnje koje potiču od sastojaka prisutnih u nepromenljivim količinama odstranjuju dodavanjem standardima istih količina ovih elemenata. I najzad, dodavanjem uzorku poznate količine ispitivanog elementa i njegovim dodavanjem može da se proveriti da li su uklonjene ove smetnje.

Literatura

- BROOKS, I. B., LUSTER, G. A., and EASTERLY, D. G. (1970): **Atomic absorption newsletter**, 9, (4)
- HARRISON, LORD, LOOFBOUROW: Praktična spektroskopija, Naučna knjiga, Beograd, 1962.
- MIŠOVIĆ, J., AST, T.: Instrumentalne metode hemijske analize, Tehnološki fakultet, Beograd, 1978.
- POLUETKOV, N. S.: Analitičke metode plamene fotometrije, Tehnička knjiga, Beograd, 1973.
- ROUSSELET, F.: Spectrophotometrie par absorption atomique appliquee a la Biologie Paris, 1966.
- STOJANOVIC, D. i VAJGAND, V.: Atomska apsorpciona plamena fotometrija, Glasnik hemijskog društva, Beograd, 1975.
- WEBER, K.: Optičke metode, Farmaceutsko društvo Hrvatske, Zagreb, 1958.

MOGUĆNOST KORIŠTENJA SURUTKE U PROIZVODNJI FERMENTISANIH NAPITAKA*

Ana ARSOV, dipl. inž., Institut za mljekarstvo, Ljubljana

Značaj surutke u vezi sa njenim korišćenjem u prehrambene svrhe ljudi postaje u zadnjim godinama na području Jugoslavije sve veći. Znamo, da surutka nije više tretirana kao otpadni produkt mljekarske industrije nego kao prateći proizvod sa velikom nutritivnom vrednošću.

Na području Slovenije ostaje pri svakodnevnoj proizvodnji sireva oko 185.000 do 200.000 litara surutke. Dosta velika količina ali ipak premala na jednom mjestu, da bi se razmišljalo o jednoj većoj preradi surutke. Najveći problem je baš u tome, da je proizvodnja sireva razbacana po cijelom području Slovenije i da bi trebalo projektirati jedan centralni pogon za prerađivanje surutke, za kojeg bi bile potrebne ogromne investicije. Pored toga bio bi još veliki problem zbog troškova transporta surutke iz pojedinih pogona u centralni pogon.

Na području Slovenije za sada se još ne upotrebljava surutka u prehrambene svrhe ljudi nego pretežno za tov svinja a dosta se pušta u kanalizaciju. Zbog toga počelo se je mnogo raditi na mogućnosti iskorištavanja surutke za pripremanje napitaka i fermentisanih napitaka kojih je tehnologija dosta jednostavna ali ipak ima i nešto pratećih problema zbog termolabilnosti surutkinih proteina.

Tekuća slatka surutka predstavlja idealan medij za izradu fermentisanih napitaka zbog toga jer ima sve važnije komponente kao što su bjelančevine, ugljeni hidrati, aminokiseline, vitamini i soli, koje su potrebne za normalno djelovanje mlječnokiselih bakterija (Voss 1976). Fermentisani napitci od surutke imaju posebno velik značaj s prehrambenog vidika.

U dosta velikim količinama su zastupljeni u surutki u vodi topivi vitamini B grupa (B₁, B₂, B₆, nikotinska kiselina). Od posebnog značaja je porast količine vitamina B₆ u toku fermentacije (Wagner 1980), što pravi fermenti-

* Referat održan na XX Seminaru za mljekarsku industriju, Zagreb, 1982.