

# Porovnanie účinkov jednorázovej a trvalej ionizácie na stabilizáciu kvality vybraných poľnohospodárskych a potravinárskych surovín

V. TVAROŽEK — J. SKALNÝ — P. LUKÁČ — E. MIHALKOVIČOVÁ

## 1. Retrospektívny pohľad na vlastný prístup k problematike

Podnet k týmto prácam dali pokusy, zamerané na riešenie možnosti využiť opustené banské diela (chodby, štôlne atď.) na skladovanie ovocia a zeleniny r. 1970. Aj keď sa od toho nedali očakávať veľké ekonomické výsledky (obťažná a nákladná manipulácia, horizontálna a vertikálna doprava), venoval Výskumný ústav potravinársky v Bratislave pozornosť tamojším zaujímavým klimato-technologickým podmienkam.

V tejto súvislosti sme vykonali v štôlni Sv. Václav v Kremnici merania klimatotechnologických parametrov — teploty, vlhkosti, cirkulácie vzduchu, ako aj merania mikrobiálnej kontaminácie, chemického zloženia atmosféry, mapovania elektrostatického poľa a meranie rádioaktivity (častice  $\beta$  a  $\gamma$ ). Skúšky vykonané r. 1970 naznačovali, že vynikajúce výsledky s udržaním čerstvosti zeleniny a ovocia, ktoré tam uskladnil štátny obchod, podmieňujú okrem čistoty prostredia najmä elektrostatické vlastnosti ovzdušia [1].

V súvislosti s týmto a v nadväznosti na teoretické a praktické výsledky s aplikáciou elektroaerosólov v medicíne v zahraničí [2] i v tuzemsku [3] odskúšali sme na VÚP elektrolytické pôsobenie aerosólov na dlhodobé skladované ovocie v množstve 1 vagóna uplatnením elektroaerosólového generátora vlastnej konštrukcie. Na základe uverejnených výsledkov [4] vzbudila táto metóda záujem aj v zahraničí. Tak V. A. Gudkovskij zostrojil na Kazašskom vedeckovýskumnom inštitúte sadovskom elektroaerosólový generátor, a tým došlo k odskúšaniu tohto nového spôsobu aj na surovine tamjšej proveniencie [5].

Napriek priaznivým výsledkom i ohlasom na naše práce orientovali sme pokračujúci výskum iným smerom, a to najmä kvôli nákladnosti a ťažkopád- nosti elektroaerosólového zariadenia. Už v r. 1973 sme zostrojili na VÚP v Bratislave jednoduchú aparaturu, ktorú sme nazvali „ionotrón“ a začali sme pokusy s uplatnením ionizácie na predĺženie sviežosti dlhodobé skladovaného ovocia a zeleniny. Tento spôsob si vyžaduje iba malé nadobúdacie a nepatrné prevádzkové náklady a v praxi je účinný a ľahko realizovateľný.

Referáty prednesené na zasadnutí špecialistov RVHP v Odesse i v Bratislave, naše uverejnené príspevky a patentová literatúra [6, 7] dali impulzy k bádaniu v tomto smere aj v zahraničí (najmä v ZSSR) a mnohé priaznivé ohlasy spätne podmienili záujem o túto problematiku v tuzemsku, a tým ovplyvnili aj náš vlastný pokračujúci výskum.

Vychádzajúc z porovnania rozdielnych výsledkov elektroionizácie v tuzemsku a v zahraničí sme pristúpili k riešeniu rozpracovanej problematiky so širším záberom. V sezóne 1978/79 sa spoločne odskúšali účinky jednorazovej a trvalej ionizácie pri uplatnení výkonnejších ionizátorov na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského a na Výskumnom ústave potravinárskom v Bratislave.

## 2. Ióny v atmosfére

Činnosť ionizačných zariadení používaných na zlepšenie procesu skladovania zeleniny a ovocia sa zakladá na pôsobení atmosféry so zvýšenou hodnotou koncentrácie voľných iónov. Venujme preto pozornosť otázkam súvisiacim s existenciou iónov v ovzduší najmä z hľadiska ich prirodzenej a umelej generácie, merania ich koncentrácie a z hľadiska iónovo-molekulových procesov, determinujúcich ich koncentračné zastúpenie vo vzduchu.

Vzduch normálne označovaný ako izolant — prostredie nevedúce elektrický prúd — obsahuje v prirodzených podmienkach elektricky nabitú časticu nazývanú ión. Aj keď je v mnohých prípadoch oprávnenosť termínu ión vo vzťahu k niektorým druhom elektricky nabitých častíc vo vzduchu diskutabilná, budeme sa pridržovať zaužívanej terminológie. Primárnym procesom objavenia sa elektricky nabitých častíc vo vzduchu je prirodzená ionizácia. Z elektricky neutrálnych molekúl plynov, tvoriacich vzduch, po dodaní energie rozličnými formami sa oddelí elektrón a ostávajúca časť molekuly nesúca kladný náboj sa nazýva kladným iónom. Uvoľnený elektrón sa pri zrážke s neutrálnou molekulou kyslíka zachytáva a vytvára záporný ión. Vzniknuté ióny sa nazývajú jednoduché ióny. Skutočný proces vzniku jednoduchých iónov je v porovnaní s uvedeným fenomenologickým opisom značne komplikovanejší. Doprevádza ho celý súbor reakcií, označovaný ako iónovo-molekulové reakcie. Záujemcom o bližšie poznanie odporúčame monotematické práce z tejto oblasti, napr. prácu Smirnova [8]. V našom príspevku uvedieme iba reakcie najpodstatnejšie z hľadiska činnosti zariadení umelo produkujúcich ióny. Energia potrebná na ionizáciu molekúl plynu sa najčastejšie dodáva vo forme rádioaktívneho žiarenia z prirodzených žiaričov obsiahnutých v zemskej kôre. Účinkom rádioaktívneho žiarenia vzniká v prízemnej vrstve vzduchu 8—10 elektrónovo-iónových párov za 1 s v objeme 1 cm<sup>3</sup>. Životnosť jednoduchých iónov je krátka. Z miesta svojho vzniku sa pohybujú difúziou a prirodzeným pohybom vzduchu vyvolaným rozličnými príčinami. Pri ich pohybe dochádza k vzniku kladných i záporných komplexných iónov. Komplexné ióny sa tvoria procesom trojčasticovej zrážky podľa schémy



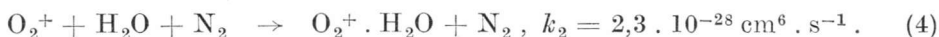
kde A<sup>-</sup> je jednoduchý záporný ión (analogicky možno písať aj pre kladné ióny), B — neutrálna molekula zúčastňujúca sa na tvorbe komplexu, M — tretia častica, ktorá má prebrať energiu uvoľňujúcu sa pri vzniku komplexného iónu AB<sup>-</sup>. Procesy typu (1) charakterizujú rýchlostné konštanty jednotlivých

konkrétnych reakcií, ktoré budeme označovať symbolom  $k$ . Pre zmenu koncentrácie komplexných iónov platí rovnica

$$\frac{d[AB^-]}{dt} = k [A^-] [B] [M] , \quad (2)$$

kde hranatými zátvorkami vyjadrujeme koncentráciu iónov jednotlivých ty-pov, resp. koncentráciu neutrálnych komponentov.

V prípade kladných iónov je primárnym kladným iónom vo vzduchu najpravdepodobnejšie molekulový ión  $O_2^+$ . Prítomnosť vodných pár dáva podnet k tejto schéme reakcií



Uvedené dve reakcie sú prakticky rovnako rýchle, preto pre odhad rovnovážnej koncentrácie jednoduchých iónov  $O_2$  postačí použiť hodnotu konštanty  $k = 2,4 \cdot 10^{-28} \text{ cm}^6 \cdot \text{s}^{-1}$ . Reakcie (3) a (4) sú hlavnými príčinami zániku jednoduchých iónov  $O_2^+$ . Pritom sme zanedbali proces mutálnej neutralizácie kladných a záporných iónov, resp. rekombináciu kladných iónov s elektrónmi vzhľadom na nízke koncentrácie spomínaných komponentov. Pre koncentráciu jednoduchých kladných iónov  $O_2^+$  platí diferenciálna rovnica

$$\frac{d[O_2^+]}{dt} = [O_2^+]_0 - (k_1 [O_2] [H_2O] + k_2 [N_2] [H_2O]) [O_2^+] , \quad (5)$$

kde prvý člen na pravej strane udáva už uvedený počet iónov  $O_2^+$ , vytvorených prirodzenou ionizáciou za 1 s v jednom  $\text{cm}^3$ . Druhé dva členy rovnice reprezentujú zánik iónov tvorbou komplexných iónov s molekulami  $N_2$  a  $O_2$ . V rovnici sú zanedbané procesy nábojovej výmeny, ktoré vedú k vzniku jednoduchého iónu  $O_2^+$ . Lineárna diferenciálna rovnica (5) má riešenie v tvare

$$[O_2^+] = \frac{[O_2^+]_0}{C} [1 + K \exp [-C t]] , \quad (6)$$

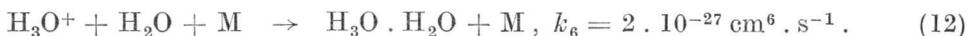
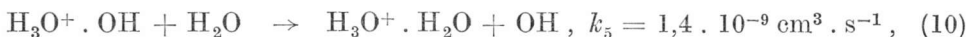
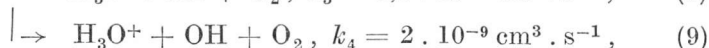
kde  $C = (k_1[O_2] + k_2[N_2]) [H_2O]$ . Hodnotu integračnej konštanty  $K$  určíme z okrajovej podmienky, požadujúcej nulovú koncentráciu iónov  $O_2^+$  v čase  $t = 0$ . Po úprave môžeme napísať

$$[O_2^+] = \frac{[O_2^+]_0}{C} (1 - \exp [-C t]) . \quad (7)$$

Dosadíme numerické hodnoty konštánt  $k_1, k_2$  [9], potom pri laboratórnych teplotách blízkyh teploty  $T = 300 \text{ K}$  a tlaku  $101,3 \text{ kPa}$  pre  $[N_2]$ ;  $[O_2]$ ;  $[H_2O]$  platí  $[N_2] = 2,11 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ,  $[H_2O] = 5,78 \cdot 10^{15} \text{ } \psi \text{ cm}^{-3}$ ,  $[O_2] = 5,57 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ .  $\psi$  je relatívna vlhkosť vzduchu v %.

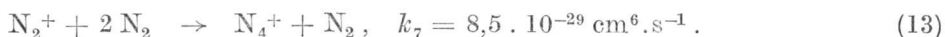
Použitím uvedených numerických hodnôt konštánt v rovnici (7) zistíme, že rovnovážna koncentrácia jednoduchých iónov  $[O_2^+]$  je prakticky nulová a určená členom  $[O_2^+]_0$  ( $C$  je rádove  $10^{-8} \text{ cm}^{-3}$ ). Môžeme preto tvrdiť, že jednoduché ióny sa v nijakom prípade nemôžu zúčastňovať procesov iónovej interakcie s povrchom ionizovaného biologického materiálu priamo, ale iba formou

komplexných iónov rozličného typu. Jednonásobne hydratované komplexné ióny ako produkty reakcií (3) a (4) sú východzími produktmi pre reakcie



Rýchlostné reakcie konštant uvádzame podľa [9]. V reakcii [12] sa pri experimentálnom určení rýchlostnej konštanty reakcie použila ako tretia častica M hélium vo forme nosného plynu. Preto numerická hodnota rýchlostnej konštanty poslednej reakcie v dusíku bude nepatrne vyššia. Vzniknuté ióny  $\text{H}_3\text{O}^+ \cdot \text{H}_2\text{O}$ , ktoré v prevažnej miere vytvára reakcia typu (12) sa môžu zúčastňovať reakcií s radikálmi makromolekúl povrchu biologického materiálu. Táto otázka však nie je predmetom nášho príspevku a súčasné názory na jej riešenie sú dosť protichodné.

V prípade, že sa vytvoril kladný ión  $\text{N}_2^+$  pri primárnej ionizácii ako druhý z možných jednoduchých iónov, prebieha o rád pomalšia, ale aj tak dostatočne rýchla reakcia tvorby komplexného iónu  $\text{N}_4^+$  procesom



Ďalšie skupiny procesov prebiehajú v prípadoch, keď je primárnou reakciou pri ionizácii disociatívny rozpad molekulového kyslíka, ktorého výslednými produktmi je záporný atomárny ión  $\text{O}^-$  a atomárny kyslík. Po tejto reakcii nasleduje tvorba ozónu, prípadne oxidu dusíka  $\text{NO}$ . Z hľadiska použitia ionizovanej atmosféry je práve tvorba ozónu reakciou mimoriadne závažnou a vrátime sa k nej ešte v súvislosti s problémami umelej ionizácie.

Skupina jednoduchých iónov a komplexných iónov sa v literatúre [10] často označuje ako ľahké ióny. Kritériom, podľa ktorého sa zaraďujú, je správanie sa iónov v elektrickom poli. Ak sa nachádza ión v elektrickom poli s intenzitou  $E$ , začne sa v dôsledku pôsobiacej sily pohybovať rovnomerným pohybom rýchlosťou  $v$ . Usmernený pohyb iónov v elektrickom poli sa pomerne často nazýva aj driftom iónov, hoci zjavne ide o nesprávny jazykový termín. Rýchlosť usmerneného pohybu iónov  $v$  je priamoúmerná intenzite elektrického poľa

$$v = b E. \quad (14)$$

Konštantu úmernosti  $b$  je pohyblivosť iónov. Meria sa v jednotkách  $\text{cm}^2 \cdot \text{v}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ . Je charakteristickou konštantou pre vybraný druh iónov a závisí od relatívnej hustoty vzduchu podľa vzťahu

$$b = b_0 \delta^{-1}, \quad (15)$$

kde  $b_0$  je redukovaná pohyblivosť vztiahnutá k relatívnej hustote  $\delta = 1$ , kde relatívna hustota plynu sa udáva ako pomer

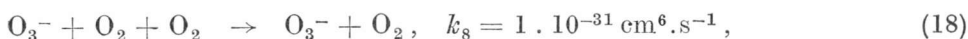
$$\delta = \frac{p \, 273,16}{T \, 101,3} \quad (16)$$

kde  $T$  je teplota plynu v  $K$  a  $p$  je tlak v kPa. Redukovaná pohyblivosť je konštantá pre vybraný druh iónu. Skupina ľahkých iónov má pohyblivosť v rozsahu nad  $1 \text{ cm}^2 \cdot \text{v}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ .

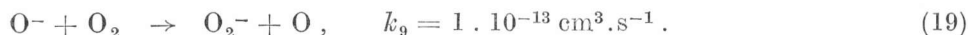
Do skupiny ľahkých iónov patria aj jednoduché a komplexné záporné ióny. Ako sme už uviedli, vznikajú procesmi záchytu elektrónov uvoľnených z neutrálnej molekuly pri vzniku kladného iónu. Vo vzduchu dochádza k záchytu elektrónov iba na molekuly  $\text{O}_2$ , pričom proces nie je jednoduchým záchytom monomolekulárneho typu, ale ide pravdepodobne o následný systém reakcií disociatívneho záchytu elektrónu s energiou väčšou ako 3,6 eV



Po ňom nasleduje záchyt iónu  $\text{O}^-$  trojnou zrážkou



prípadne reakciou



Posledná z dvoch uvedených reakcií sa uplatňuje najmä v oblasti vysokých hodnôt intenzity elektrického poľa, charakteristických pre zariadenia vytvárajúce umelú ionizáciu v prípade ionizátorov, využívajúcich elektrické výboje v plyne. Ióny  $\text{O}_2^-$  a  $\text{O}_3^-$  s hodnotami redukovanej pohyblivosti 2,16, resp.  $2,5 \text{ cm}^2 \cdot \text{v}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  rýchle hydratujú na komplexné ióny  $\text{O}_2^- \cdot (\text{H}_2\text{O})_n$  ( $n = 1, 2, 3$ ), resp. ióny  $\text{O}_3^- \cdot \text{H}_2\text{O}$ , ktorých životnosť je značne väčšia ako životnosť jednoduchých primárnych iónov.

Ľahké ióny, ktoré vznikli v procese primárnej ionizácie plynu prirodzenými ionizátormi, dosahujú koncentráciu niekoľko stoviek iónov v  $\text{cm}^3$ . Koncentrácia ľahkých kladných iónov je za normálnych podmienok vyššia ako koncentrácia záporných iónov. Ich vzájomný pomer sa volá koeficient unipolárnosti iónov a je mierou elektrického stavu ovzdušia. Bežne sa jeho hodnota pohybuje v intervale 1,2—1,6 a jej rast svedčí o rastúcom znečistení vzduchu mikroskopickými tuhými časticami.

Zánik ľahkých iónov spôsobuje ich precipitácia k tuhým polarizovateľným časticiam, nachádzajúcim sa bežne v ovzduší v značných koncentráciách. Vytvárajú sa ióny označované ako stredné ióny s pohyblivosťami v intervale  $0,01—0,001 \text{ cm}^2 \cdot \text{v}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  s rozmermi typicky v oblasti  $\mu\text{m}$ . Procesy nabíjania sú podrobne opísané v monografii J. Böhmovej [11]. Vzhľadom na veľký rozmer častíc a nízku pohyblivosť v elektrickom poli usudzujeme, že táto skupina iónov nie je v nami študovaných procesoch interakcie elektricky nabitých častíc účinná, preto jej nebudeme venovať ďalšiu pozornosť, ako aj skupinám ťažkých, resp. supertažkých iónov (v týchto prípadoch je názov ión už sotva oprávnený). Zánik ľahkých iónov sa sledoval na našom pracovisku v kovových potrubiach [12] a vo voľnej atmosfére [13]. Experimentálne sme zistili, že koncentrácia ľahkých iónov klesá pri ich transporte rýchlosťou  $w$  podľa vzťahu

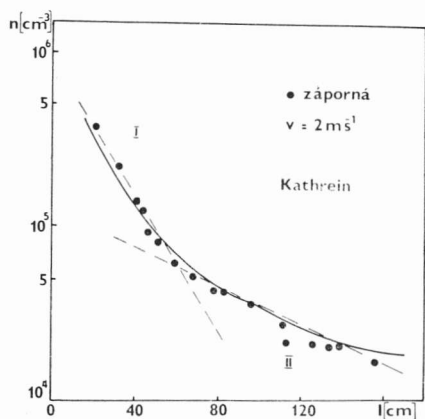
$$n = n_0 \exp \left[ -\alpha \frac{x}{w} \right] \quad (20)$$

kde  $n$  je koncentrácia iónov vo vzdialenosti  $x$  od miesta ich vzniku, kde ich koncentrácia bola  $n_0$ . Hodnota konštanty  $\alpha$  je v rozsahu 1—0,65 a závisí od vlhkosti vzduchu, resp. od stupňa jeho znečistenia. Obr. 1 znázorňuje vybranú grafickú závislosť pre uvedené podmienky.

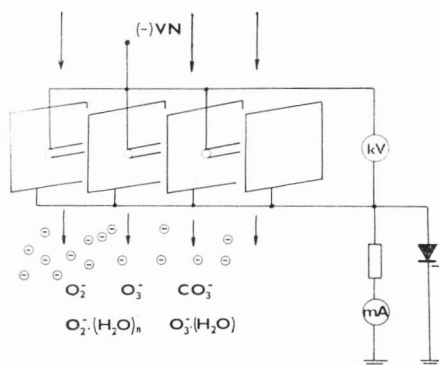
### 3. Umelá ionizácia vzduchu, vznik ozónu a generátory iónov

Ako sme uviedli v úvode, v literatúre existujú zmienky o možnosti jednorazovej aplikácie ionizovanej atmosféry na ovocie a zeleninu, ktorá má za následok predĺženie ich trvanlivosti v porovnaní s neexponovanými vzorkami tých istých druhov [14]. Pretože z opisu experimentov nie je zrejmé, aký druh iónov sa použil a rovnako nie je uvedená hodnota koncentrácie iónov, robili sme na našich pracoviskách overovacie merania, v ktorých sa skúmal vplyv ionizovaného vzduchu, obsahujúceho prevahu záporných iónov s koncentraciami  $10^3$  až  $10^5$  iónov/cm<sup>3</sup>. Na ionizáciu sa použil iónový generátor, využívajúci záporný korónový výboj.

Základnou súčasťou používaného zariadenia bol elektródový systém rovnobežných rovín s paralelne umiestnenými vodičmi. Na obr. 2 je blokova schéma



Obr. 1.



Obr. 2.

zapojenia. Pripojené vysoké napätie z VN zdroja sa dalo regulovať. Ak zvýšime dostatočne jeho hodnotu, začína sa v tesnej blízkosti centrálnej elektródy proces objemovej ionizácie plynu nárazom elektrónov pochádzajúcich z procesu prirodzenej ionizácie, urýchlených v silnom elektrickom poli v tesnej blízkosti centrálneho vodiča. V dôsledku tohto procesu koncentrácia elektrónov vzrastie  $10^4$ — $10^6$ -krát. Keďže intenzita elektrického poľa v okolí vodiča klesá prakticky nepriamoúmerne so vzdialenosťou od jeho stredu, procesy objemovej ionizácie sa koncentrujú iba do tesnej blízkosti centrálneho vodiča, ktorý nazývame korónujúcou elektródou. Vrstva, v ktorej dochádza k ionizácii

a ktorej polomer je iba niekoľkonásobkom polomeru korónujúcej elektródy, označuje sa ako ionizačná vrstva. Vyvolanie procesov objemovej ionizácie sa prejaví vo vonkajšom obvode elektrického okruhu merateľným prúdom. Intenzita elektrického prúdu rastie s napätím. Hodnota napätia, pri ktorej začína prechádzať obvodom elektrický prúd, nazýva sa zápalné napätie samostatného korónového výboja  $U_0$ . Prenos elektrického náboja cez medzielektródový priestor sprostredkúva objemový náboj záporných iónov, ktoré vznikli záchytnom elektrónov, vytvorených objemovou ionizáciou v ionizačnej vrstve výboja. Priestorový náboj záporných iónov sa nachádza v oblasti s nízkou intenzitou elektrického poľa. Táto časť výbojového priestoru medzi elektródami je prakticky zhodná s celým vnútorným objemom medzielektródového priestoru a označuje sa ako vonkajšia vrstva výboja. Ak pomocou ventilátora vyvoláme prúdenie vzduchu cez medzielektródový priestor v zmysle obr. 2, časť záporných iónov bude strhnutá mimo ionizátor. Vyfúknuté ióny sú buď jednoduché, buď komplexné, ako sme už uviedli pri prirodzenej ionizácii. Ak je koncentrácia iónov vo vonkajšej vrstve výboja  $n_0$ , potom koncentrácia iónov  $n_i$  na výstupe z ionizátora (zanedbáme konverziu iónov na menej pohyblivé typy) bude

$$n_i = n_0 \frac{w}{v} , \quad (21)$$

kde  $v$  je rýchlosť usmerneného pohybu v elektrickom poli vonkajšej vrstvy výboja a  $w$  — rýchlosť prúdenia vzduchu. Koncentráciu  $n_0$  môžeme určiť výpočtom z tzv. voltampérovej charakteristiky výboja, závislosti výbojového prúdu od napätia medzi elektródami. Na to potrebujeme poznať hodnotu zápalného napätia  $U_0$ . Zápalné napätie si môžeme vypočítať zo známych rozmerov elektród (pozri obr. 3) pomocou vzťahu

$$U_0 = E_0 r_0 \ln \frac{2d}{\pi r_0} , \quad (22)$$

kde  $E_0$  je intenzita elektrického poľa na povrchu korónujúceho vodiča v okamžiku zapálenia výboja pri napätí  $U_0$  nazývaná počiatočná intenzita elektrického poľa,  $r_0$  — polomer korónujúcej elektródy,  $d$  — vzdialenosť medzi rovinnými elektródami. Na určenie  $E_0$  použijeme Peekov vzťah [15]. Pre vzduch platí

$$E_0 = 31\delta \left( 1 + \frac{0,308}{\sqrt{\delta \cdot r_0}} \right) . \quad (23)$$

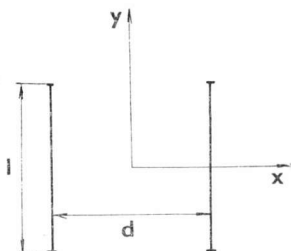
Pre nami používané rozmery elektród je hodnota  $E_0$  pri  $\delta = 0,925$  rovná  $158,6 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Zo vzťahu (22) určené zápalné napätie má pre rozmery  $d = 32 \text{ mm}$  a  $r_0 = 0,05 \text{ mm}$  hodnotu  $4,67 \text{ kV}$ . Experimentálne zistená hodnota zápalného napätia bola v dobrom súhlase s vypočítanou hodnotou. Priemernú hodnotu koncentrácie  $n_0$  si určíme z voltampérovej charakteristiky pri napätí na elektródach  $U = 5,5 \text{ kV}$  použitím analytickej formy

$$I = \left( 1,15 - 12 \frac{r_0}{d} \right) \cdot \frac{\pi^3 \varepsilon_0 b}{2d^2} U(U - U_0) , \quad (24)$$

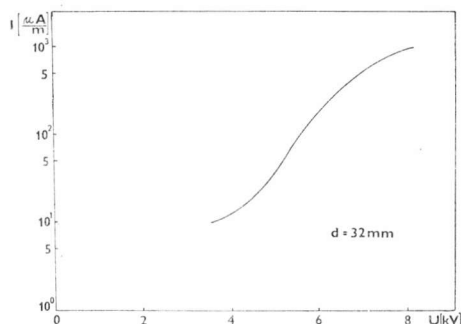
kde  $I$  je prúd na  $1 \text{ m}$  dĺžky korónujúcej elektródy v A,  $\varepsilon_0$  — permitivita vákua

$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C} \cdot \text{m}^{-1}$ ,  $b$  — pohyblivosť jednoduchých iónov, ktorú v prvom priblížení položíme rovnú  $2 \text{ cm}^2 \cdot \text{v}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , čo je priemerná hodnota pohyblivosti iónov vo vonkajšej vrstve výboja. Pre použité rozmery elektród je hodnota prúdu z 1 m korónujúcej elektródy 0,55 mA. Pri celkovej dĺžke elektród 2,8 m bude prechádzať prúd 1,54 mA. Nameraná voltampérová charakteristika ionizátora na obr. 4 je v dobrom súhlase s teoretickým priebehom počítaným podľa vzťahu (24). Na určenie  $n_0$  si musíme stanoviť hodnotu intenzity elektrického poľa  $E$  pri vonkajšej elektróde. Pre systém na obr. 3 platí

$$E = -\frac{\pi U}{d \cdot \ln \frac{2d}{\pi r_0}} - \frac{1}{\cosh \frac{\pi y}{d}} \quad (25)$$



Obr. 3.



Obr. 4.

Strednú hodnotu intenzity pri rovinnej elektróde  $E$  určíme integráciou

$$\bar{E} = \frac{1}{L} \int_{-L/2}^{L/2} E dy \quad (26)$$

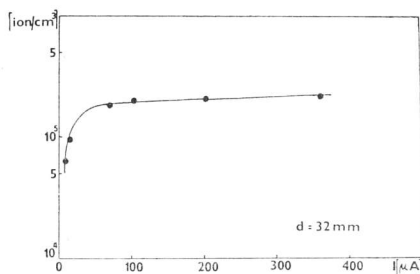
( $L$  je šírka rovinnej elektródy), čo po integrácii a dosadení použitých rozmerov elektród dáva hodnotu  $\bar{E} = 1,9 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Ak predpokladáme rovnomerné rozloženie náboja v prielektródovej oblasti, môžeme zapísať pre celkový prúd na elektródu výraz

$$I = 2 \cdot S \cdot n_0 \cdot \bar{E} \cdot b \cdot e, \quad (27)$$

v ktorom  $S$  je celková plocha elektródy (jednostranne) a  $e$  — elementárny náboj. Zo vzťahu (27) si vypočítame koncentráciu iónov  $n_0$ . V zariadení, ktoré sme použili, bola jej hodnota  $n_0 = 1,3 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}$ .

Na odhad koncentrácie vyfukovaného ionizovaného vzduchu použijeme vzťah (21), v ktorom dosadíme za rýchlosť iónov hodnotu určenú zo vzťahu (14) pre  $E = 14 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Hodnota intenzity bola určená v strede vzdialenosti medzi korónujúcou a rovinnou elektródou. V tomto prípade je  $v = 280 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Preto predpokladaná koncentrácia iónov vo vyfukovanom vzduchu bude  $n_0 = 9 \cdot 10^6$  iónov v  $\text{cm}^3$ . Experimentálne sa merali závislosti koncentrácie

iónov vo vzdialenosti 1 m od ústia ionizátora od výbojového prúdu. Nameraná závislosť je na obr. 5.



Obr. 5.

Pre záporný korónový výboj je charakteristická tvorba ozónu, vznikajúceho z atomárneho kyslíka, uvoľneného v ionizačnej vrstve pri disociatívnom zachytení elektrónov reakciou (17). Koncentráciu ozónu môžeme ovplyvniť rýchlosťou prúdenia vzduchu a výkonom výboja, ako to uvedieme v opise experimentálneho zariadenia, použitého pri našich pokusoch. Úlohu ozónu v našom experimente rozoberieme v diskusii dosiahnutých experimentálnych výsledkov.

V priebehu našich pokusov s trvalou ionizáciou sme uplatnili ionizátory rozličnej konštrukcie a výkonnosti, zostrojené na tom istom princípe a skladajúce sa z týchto častí:

- VN transformátor,
- drôtená izolovaná sieťka (záporná elektróda),
- kovová uzemnená mriežka (kladná elektróda),
- ventilátor.

Vynechávajúc podrobnosti poznamenávame, že záporný pól VN zdroja je napojený na vnútornú (nabíjaciu) elektródu, ale kladný pól zdroja VN i proti-elektrode silný vodič dokonale uzemní.

Ionizácia tu nastáva urýchlením elektrónov v elektrostatickom poli.

Elektrický ventilátor slúži na vytváranie prúdenia vzduchu tak, aby smerovalo cez zápornú elektródu ku kladnej (uzemnenej) elektróde. Tak sa cez sieťovú zápornú elektródu prechádzajúci vzduch silno obohacuje záporne nabitými iónmi. Prúdom vzduchu sa strhávajú záporné ióny do skladového priestoru, ale kladné ióny sa z väčšej časti odvádzajú cez uzemnenie.

#### 4. Príslušenstvo na meranie ionizácie ovzdušia

Na meranie koncentrácie iónov v ovzduší a zastúpenie  $+$  a  $-$  iónov uplatňujeme v našich prácach ionometer Kathrein MGK 01, čo je vlastne malý prenosný merač pozitívnych a negatívnych iónov.

Prístroj je plne tranzistorový a ako taký je relatívne ľahký a dá sa s ním dobre manipulovať, takže možno ľahko dosiahnuť každé miesto v sklade.

Podstatné časti prístroja sú:

- aspiračný systém — cylindrický kondenzátor s koaxiálne usporiadanými elektródami a s ventilátorom,

— merný systém — operačný jednosmerne integrovaný zosilňovač a ručičkový merací prístroj intenzity prúdu.

Ionometer má teda aspiračný systém, ktorý udáva merateľné hodnoty a rozšírený ukazovateľ, na ktorom sa udáva počet iónov/cm<sup>3</sup>. Na cylindrickom kondenzátore aspiračného systému je napätie 60 V. Medzi vnútornou a vonkajšou elektródou sa nasáva vzduchový prúd, z ktorého získané ióny priťahuje elektróda a tam sa vybijú. Vybitý prúd vytvára na meracom odpore napätie, ktoré sa v zosilňovači zosilňuje a meria sa citlivým mikroampérmetrom. Vybitý prúd a napätie sú úmerné koncentrácii iónov. Rozsahová stupnička ukazovateľa je priamo označená v počte kladných a záporných vzdušných iónov v cm<sup>3</sup>. Prístroj registruje iba ióny s pohyblivosťou väčšou ako 0,75 cm<sup>2</sup>.v<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup> teda iba ľahké ióny.

Nevýhodou prístroja je jeho závislosť od sieťového napätia. Nemôžeme ho teda použiť v poľných podmienkach. Merací rozsah prístroja sa dá prepínať a vyhovuje meraniu ionizácie v rozsahu asi 10—20 iónov/cm<sup>3</sup> až 10<sup>6</sup> iónov/cm<sup>3</sup>. Prístroj je citlivý na atmosferické elektrické výboje.

## 5. Experimentálne výsledky jednorazovej ionizácie

Jednotlivé vzorky sme umiestnili do vzduchového kanála štvorcového prierezu (plocha 6,25 dm<sup>2</sup>), vyrobeného z plexiskla. Na jeho výstupe bol umiestnený ventilátor s hodinovým teoretickým výkonom 180 m<sup>3</sup>/hod. Vzduch nasávaný ventilátorom sa ionizoval pri prechode cez elektródový systém rovnobežných drôtov medzi rovinami. Koncentrácia záporných iónov dopadajúcich na vzorku sa merala ionometrom Kathrein na výstupe z tunela. Vzorky sa umiestnili na perforovaných podložkách (obr. 6). Po zvolenom expozičnom čase sa vzorky skladovali v laboratóriu pri teplote 20 °C (s toleranciou ± 3 °C). Relatívna vlhkosť vzduchu sa pohybovala okolo 30 až 50 %. Záporné ióny vznikali vo vonkajšej vrstve záporného korónového výboja medzi vodičom uloženým rovnobežne s dvoma paralelnými doskovými elektródami. Pracovné VN sa menilo na elektródach v intervale 4,8 až 5,2 kV, aby sa dosiahli maximálne prúdy 500 μA. Až pri prúde 50 μA dochádza k saturácii koncentrácie iónov (pozri obr. 5). Vyššie hodnoty prúdov nebolo potrebné používať. Geometria elektród umožnila znížiť produkciu ozónu vo výboji na minimum a v porovnaní s podmienkami pokusu v práci Buta [14] na úplne zanedbateľnú hodnotu. Hodnota koncentrácie ozónu sa môže určiť numericky pomocou vzťahu

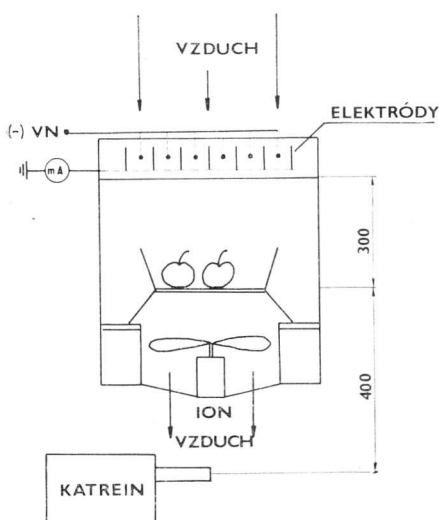
$$[\text{O}_3] = 4,2 \cdot 10^4 (1 - \exp [-2,4 \cdot 10^{-3} P/V]) \quad [\text{mg/m}^3] , \quad (28)$$

kde

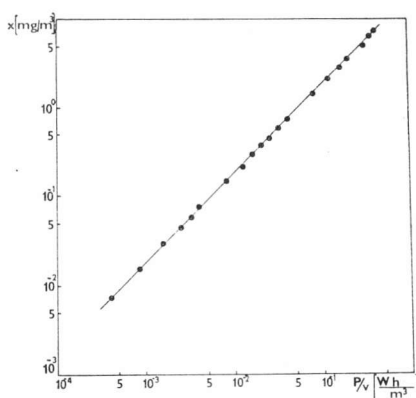
$$\frac{P}{V} = \left[ \frac{W \cdot h}{\text{m}^3} \right]$$

je výkonnosť výboja  $P$  a rýchlosti prúdenia  $V$  v m<sup>3</sup>/h.

Vzťah (28) bol odvodený a experimentálne overený pre naše podmienky výboja pomocou eugenolometrickej a spektrofotometrickej metódy. Grafickú závislosť koncentrácie ozónu v prúde vzduchu od pomeru  $P/V$  znázorňuje obr. 7.



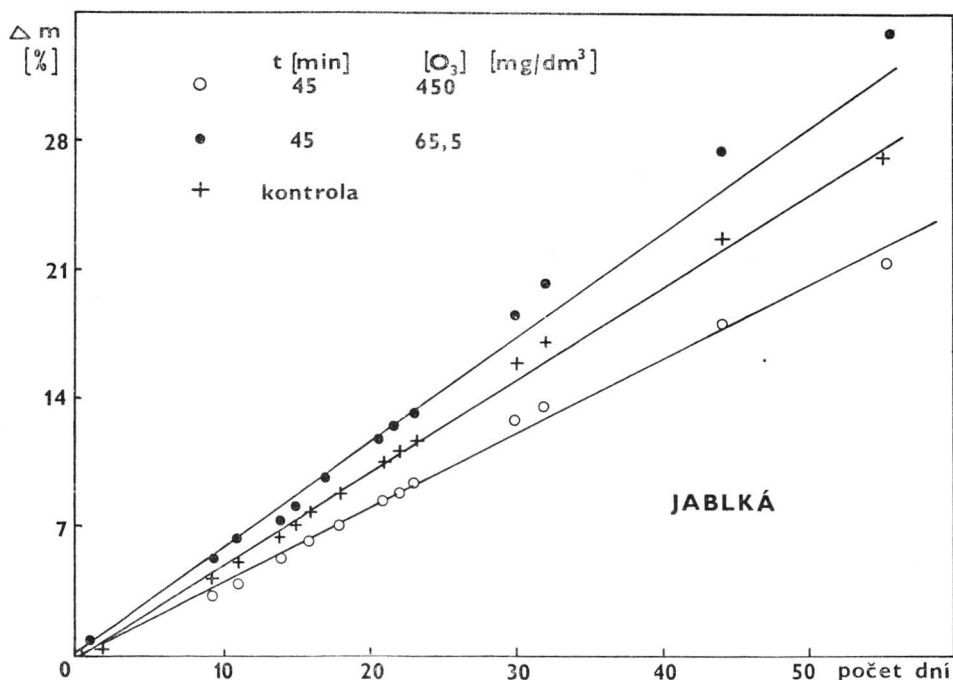
Obr. 6.



Obr. 7.

## 6. Experimentálne výsledky nárazovej ionizácie

V našich pokusoch sme použili 3 typy vzoriek: jablká odrody Jonathan, proveniencie D. Streda, karotku odrody Nantes a papriku odrody Česká ranná. V každej skupine meraní sme exponovali vzorky pri rozličných výbojových prúdoch a rozlične dlhý čas. Tým sme menili koncentráciu ozónu a dosiahli sme rozdielne hodnoty počtu iónov dopadnutých na skúmané vzorky. Vo všetkých troch skupinách pokusov sa pozorovala časová zmena hmotnosti vzorky a vyhodnocovala sa percentuálna strata hmotnosti. V našich pokusoch sa percentuálne hmotnostné straty menili priamoúmerne s časom, čo kontrastuje s výsledkami uvádzanými Butom [14] najmä pre kontrolné (neexponované) vzorky. Na ilustráciu uvádzame iba 3 vybrané priebehy časových závislostí hmotnostných úbytkov na zdôraznenie nezávislosti skúmaných priebehov od ionizácie a od koncentrácie ozónu v prúde vzduchu. Krivky namerané pre jablká sú na obr. 8. Z obrázka by mohlo azda vyplynúť, že hmotnostné úbytky vzoriek, vystavených ionizácii, klesajú v porovnaní s hmotnostnými stratami kontrolných vzoriek. Na druhej strane však vzduch s nižším obsahom iónov a nižším obsahom ozónu spôsobil vzrast hmotnostných strát nad hodnoty kontrolnej vzorky. Ak by sme vyniesli všetky krivky, zistili by sme, že rast hmotnostných strát pri všetkých krivkách je lineárny s časom a ich smernice  $k$  sú z intervalu 0,41—0,63 %/deň. Medzi hodnotou  $k$  a meniacimi sa parametrami, t. j. dĺžkou expozície a koncentráciou ozónu nevyplýva nijaká pozorovateľná korelácia. K podobnému záveru dospejeme, ak si všimneme priebehy závislostí hmotnostných úbytkov mrkvy a zelenej papriky (obr. 9, 10). Teda z hľadiska týchto výsledkov nemôžeme kladne zodpovedať otázku vplyvu jednorazovej ionizácie na stabilizáciu poľnohospodárskych a potravinárskych surovín.



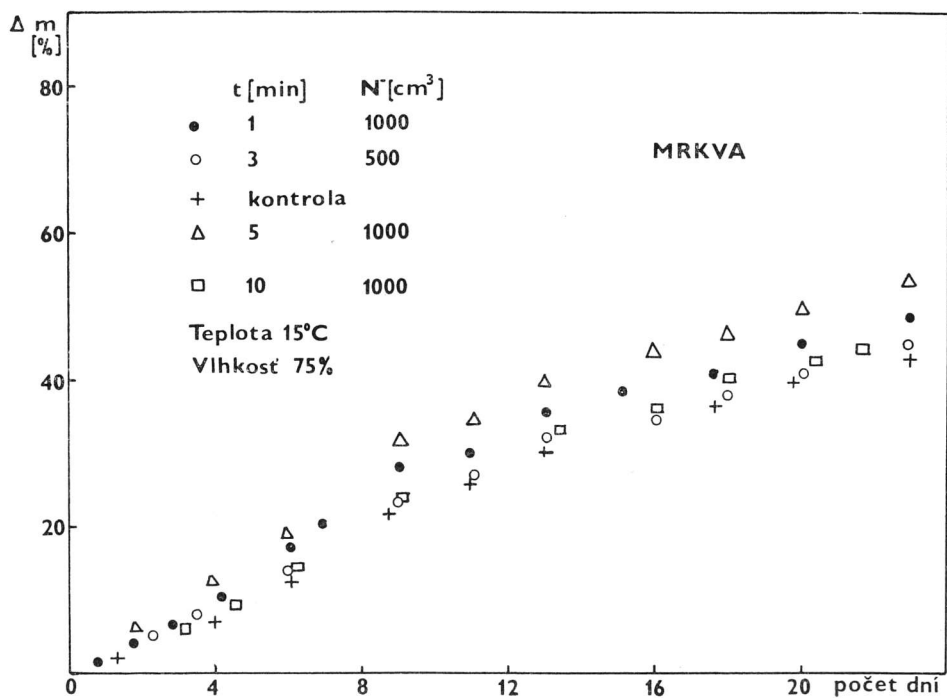
Obr. 8.

Hľadanie vhodného expozičného času pre vzorky v ionizovanom vzduchu (resp. v ozonizovanom vzduchu) môžeme interpretovať mechanizmom urýchľovania procesu dozrievania pri veľmi vysokých dávkach ozónu alebo retardáciou pri miernych dávkach, majúcich antiseptické účinky. But [14] zdôrazňuje výber optimálneho expozičného času. Keďže v tejto práci nie sú spomenuté ani rozmery zariadenia, ani koncentrácia iónov, nemôžeme odhadnúť množstvo ozónu v jeho pokuse. V Butových pokusoch s hodinovou expozičiou možno predpokladať koncentráciu ozónu rovnú hodnote rovnovážnej v plne ozonizovanom vzduchu asi 3 %. V našich pokusoch sme však pracovali iba s nízkymi koncentraciami ozónu, neprevyšujúcimi hodnotu 0,1 ppm.

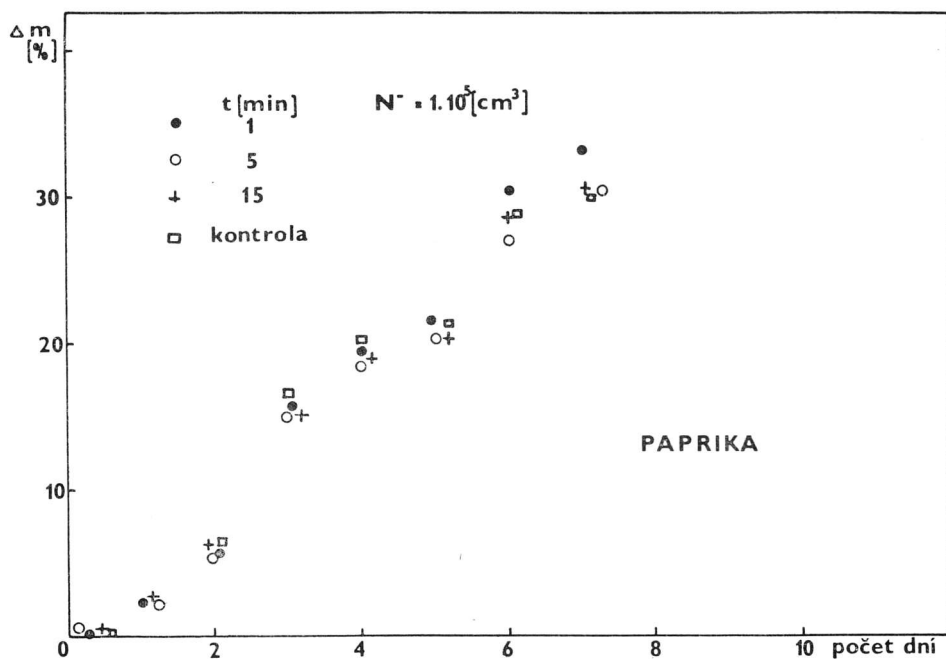
## 6. Prestupy iónov do izolovaných systémov

Nadväzujúc na priaznivé výsledky pokusov i realizácie z rokov 1967 až 1970, týkajúce sa izolácie veľkých nákladových blokov suroviny polyetylénovými fóliami, hľadali sme v ďalšom výskume plastický izolačný materiál umožňujúci (pri zachovaní optimálnych klimatotechnologických parametrov) tok záporných iónov smerom dovnútra obalu. Nové fyzikálne, chemické a elektrické vlastnosti polypropylénu nám dali podnet na uplatnenie fólií tohto typu v našich výskumných prácach zameraných na stabilizáciu kvality poľnohospodárskych a potravinárskych surovín.

V tejto časti sa stručne zmienime o našich pokusoch vykonaných v sezóne



Obr. 9.



Obr. 10

1977/78 a ich výsledkoch, dosiahnutých uplatnením polypropylénových fólií na izoláciu chladiarensky skladovanej suroviny.

Porovnávacie skúšky:

Pri uplatnení neorientovanej polypropylénovej fólie hrúbky 0,02 mm a šírky 1520 mm, zvarenej do geometrických tvarov blokov naskladnenej suroviny (ovocie a zelenina) v klimatizovaných boxoch VÚP v Bratislave, sme v sezóne 1977/78 a 1978/79 dosahovali tieto podmienky:

Klimatotechnologické parametre

Spôsob	Teplota (°C)	Relatívna vlhkosť (%)
Voľne	+ 0,5	81,5
Pod PE	+ 1,5	97,0
Pod POP	+ 1,4	98,5

Atmosferické parametre

Spôsob	O-	CO-	Poznámka
Voľne	20,0	0,90	v strede výšky bloku
Pod PE	17,30	3,50	
Pod POP	16,80	4,00	

Za uplatnenia ionizátora ION 01 s rýchlosťou prúdenia vzduchu 0,5 m/s s napätím na elektródach 5,4 kV a prúdom 600  $\mu$ A pri meraní 120 cm od zdroja sme zistili, že polypropylén má užitočnú permeabilitu pre tok záporných iónov, významných z hľadiska elektrometabolizmu, ktorý prebieha v uskladnených plodinách okrem transpirácie a respirácie. Ako príklad uvádzame tieto čísla z našich meraní, vykonaných ionometrom MGK 01 (Kathrein):

Pozadie	140 $\ominus$ /cm <sup>3</sup>	250 $\oplus$ /cm <sup>3</sup>
Ionizácia	2000 $\ominus$ /cm <sup>3</sup>	
Prestup — cez PE	0 $\ominus$ /cm <sup>3</sup>	
— cez POP	1000 $\ominus$ /cm <sup>3</sup>	

(Poznámka: výňatok z meraní vo voľnom a izolovanom priestore boxov VÚP, december 1978.)

Na základe priaznivých klimatotechnologických a atmosferických parametrov a najmä so zreteľom na užitočný prestup záporných iónov cez polypropylénovú fóliu sme predpokladali možnosti zdokonalenia úchovy plodín uplatnením tejto izolácie, čo sa aj potvrdilo v diferenciách hmotnostných úbytkov: — voľne v chladenom priestore (kontrola): pod 5 %, t. j. iba o niečo nižšie, ako pripúšťa prídavná norma nezavinených strát pre zimné zásoby (za mesiace september až apríl + povolené manipulačné straty);

- pod PE (séria pokusov): celkové úbytky sa pohybovali pri jednotlivých druhoch a odrodách v rozsahu 3,8 až 4,5 %;
- pod POP (séria pokusov): úhrnné straty (fyziologické, patologické a manipulačné) nepresahovali pri naskladnených druhoch a odrodách rozsah 2,6 až 3,1 %.

Keďže výsledky hmotnostných i akostných úbytkov v tejto sérii pokusov sú v korelácii s údajmi klimatotechnologických parametrov, ako aj s hodnotami prestupu záporných iónov cez fólie, vydali sme uvedenú technológiu formou realizačného výstupu [16].

## 7. Úvaha o perspektívach hospodárskeho využitia ionizácie

Ako sme už uviedli, usporiadali sme na odskúšanie efektívnosti ionizácie v kampani 1974/75 veľký porovnávací pokus, v ktorom sme sledovali úchovu čerstvého ovocia a zeleniny proveniencie Dvory n/Žit. v tamojšom klimatizovanom veľkokapacitnom sklade patriacom JRD Aurora. Paralelne sme robili skúšky s tým istým materiálom v klimatizovaných boxoch Výskumného ústavu potravinárskeho v Bratislave pri uplatnení regulovanej atmosféry  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  a Ar.

Experimentálne výsledky tohto porovnávacieho pokusu boli spracované v záverečnej výskumnej správe [17] a publikované [18]. Hospodárske výsledky sme potom zaznamenávali kvantitatívnym vyhodnocovaním skladových úbytkov (fyziologických, patologických a celkových) v období 1975/76 až 1977/78. Potvrdený ekonomický efekt JRD Dvory n/Žit. presahuje hodnotu 1,5 % z celkového objemu asi 100 vagónov skladovaného ovocia a zeleniny ročne oproti stavu pred zavedením ionizačných jednotiek do činnosti [19].

Naproti tomu jednorazová aplikácia ionizácie, ako vidieť z uvedených výsledkov pokusov, vykonaných v sezóne 1978/79 v spolupráci Prírodovedeckej fakulty UK a VÚP v Bratislave, nepriniesla nijakú pozoruhodnú zmenu v stabilizácii kvality vzoriek ovocia, resp. iba celkom malé zlepšenie pri niektorých vzorkách.

Osobitná séria pokusov a meraní, vykonaná tiež v rámci spolupráce Prírodovedeckej fakulty UK a VÚP v Bratislave s použitím izolácie suroviny pri súčasnej ionizácii priniesla priaznivé výsledky. Na základe zistenia žiadúcich klimatotechnologických parametrov vytváraných pod POP-fóliou a žiadúceho toku iónov cez izoláciu, navrhli sme uplatnenie predmetného spôsobu v poloprevádzkovom rozsahu.

So zreteľom na perspektívnosť odskúšaných metód podujali sme sa na ďalšie nezávislé preverenie nových účinnejších aparátúr, uplatnených novým spôsobom v experimentálnych, poloprevádzkových i prevádzkových podmienkach, ktoré pripravujeme na sezónu 1979/80 v rámci časovej etapy E 03 čiastkovej úlohy P-11-529-264-01-VE-01. Keďže však rozsah a obsah týchto prác presahuje možnosti a sily riešiteľského kolektívu starého typu, zabezpečujeme v predmetnej veci interdisciplinárne prepojenie, ako aj širší záber formou komplexnej realizačnej brigády, zostavenej zo špecialistov VÚP a Prírodovedeckej fakulty UK.

## Súhrn

Na základe vlastných experimentálnych poloprevádzkových i prevádzkových výsledkov, vykonaných s uplatnením rozličných typov ionizátorov konštatujeme, že trvalá ionizácia, ktorou sa dosahuje vyšší stupeň záporných iónov v skladovom ovzduší môže byť pre stabilizáciu kvality a čerstvosti poľnohospodárskych a potravinárskych surovín užitočná, avšak vždy iba ako prídavná metóda ku chladiarenskej technológii. Neprejavuje sa výrazne pri jednorazovom pôsobení, ale vždy pri trvalom uplatnení počas celej doby úchovy týchto produktov.

Vzhľadom na to pristupujeme v najbližšej sezóne k vyskúšaniu účinnejších ionizačných zdrojov v experimentálnom, poloprevádzkovom i prevádzkovom meradle kvôli hlbšiemu preskúmaniu interakcií ionizácie a rozličných klimato-technologických podmienok a k hľadaniu vnútorných závislostí elektrometabolizmu, endogénnej respirácie a súvisiacich javov.

## Literatúra

1. TVAROŽEK, V.: Riešenie problematiky regulovanej atmosféry pre zdokonalenie skladovania ovocia a zeleniny. Výskumná záverečná správa VÚP 1973.
2. FUKS, N. S.: Mechanika aerosolej. Moskva 1955.
3. RYSKA, Z.: Výzkum techniky hĺbovkovej inhalácie elektroaerosolů. 7, Práce ČVUT, R. III, 1963, č. 1.
4. TVAROŽEK, V. — DUDÍKOVÁ, E.: Výskum možností uplatnenia elektroaerosolov na predĺženie úchovy potravinárskych surovín. Bull. VÚP, 1971, č. 2.
5. TREBUŠENKO, E. I.: Raboty Tvarožeka i Dudikovej. UNIIS (Krym), 1973, č. 4.
6. Čs. pat. 141051 (elektroaerosolový generátor).
7. Čs. pat. 191391 (ionotrón).
8. SMIRNOV, B. M.: Usp. fiz. nauk, 1977, č. 121.
9. CARLETON, J. H. a kol.: J. Chem. Phys., 57, 1972.
10. ŽÁČEK, J.: Acta hygien., 1977, č. 8.
11. BÖHM, J.: Elektrické odlučovače. Praha, SNTL 1977.
12. SKALNÝ, J.: Výskumná správa. Bratislava 1978.
13. ŠIPÓCZ, J.: Kand. diz. práca. Bratislava 1978.
14. BUT, A. I.: Primeneniye elektronnoionnoj technologii v piščevoj promyšlennosti. Moskva 1977.
15. BACHLAJEV, Š. A. — GRIMMAN, J. G.: Koronarazriadnyje pribory. Alma-Ata, Nauka 1978.
16. TVAROŽEK, V. a kol.: Metody stabilizácie akosti surovín RV č. P-11-529-264/01 — R 01, VÚP 1978.
17. TVAROŽEK, V.: Riešenie problematiky regulovanej atmosféry pre zdokonalenie skladovania ovocia a zeleniny. Výsk. záv. správa 1975.
18. TVAROŽEK, V.: Primeneniye elektroionizácii vozducha pri chranenii. Sadovodstvo 1975, č. 3.
19. Potvrdenie výsledkov. JRD Aurora, prípis zo dňa 26. októbra 1978, č. 288/výr.

## Сравнение влияний единовременной и перманентной ионизации на стабилизацию качества избранного сельскохозяйственного и пищевого сырья

### Выводы

На основе собственных экспериментальных полуэксплуатационных и эксплуатационных результатов переведенных при использовании разных типов ионизаторов установилось, что перманентная ионизация, с помощью которой достигается высшая степень негативных ионов в складочной атмосфере может быть для стабилизации качества и свежести сельскохозяйственного и пищевого сырья полезной, но только как дополнительный метод к холодильной технологии. Она не проявляется выразительно при единовременном влиянии, но при перманентном использовании в течение непрерывного времени хранения этих продуктов.

Ввиду этого приступилось в наступающем сезоне к испытанию более эффективных ионизационных источников в экспериментальном полупроизводственном и производственном критерии с целью более глубокого изучения взаимодействий ионизации и других климатотехнологических условий как к исканию внутренних зависимостей электрообмена веществ, эндогенной респирации и с этим связанных явлений.

## Effects comparison of impact and permanent ionization to quality stabilization of selected agricultural and food raw materials

### Summary

On the basis of own experimental, pilot and operational results exerted with different ionizer types we are stabilizing, that the permanent ionization with higher level of negative ions in storage atmosphere can be useful for quality and freshness stabilization of agricultural and food raw materials but always merely as additional method to cooling technology. It does not appear outstanding at impact effect, but always at permanent asserting during all time of these products preservation.

That is why we are proceeding in coming season to testing of more effective ionizing sources in experimental, pilot and operational measure with the aim of more profound examining interactions of ionization and different climate-technologic conditions and to searching for internal dependences of electrometabolism, endogenic respiration and connecting phenomena.