

Jānis Alksnis

**KODOLSPEKTROSKOPIJAS UN BETA RADIOMETRIJAS
REZULTĀTI VIDES MONITORINGĀ
SALASPILS KODOLREAKTORA APKĀRTNĒ
(1966.g. līdz 1995.g.)**

Disertācija Fizikas zinātņu doktora grāda iegūšanai



LZA Kodolpētniecības centrs

Rīga, 1998.gads

Saturs

1. Ievads.....	3
2. Monitoringa vispārējs raksturojums	3
3. Salaspils kodolreaktora darbība un monitoringa rezultāti	7
3.1. "Tālo" un "tuvo" vides elementu radioaktivitāte	7
3.2. Korelācija starp Salaspils kodolreaktora enerģijas izstrādi un vides radioaktivitāti	11
3.3. Ūdens radioaktivitāte un kodolreaktora darbība	13
4. Atmosfēras radioaktivitātes sezonas raksturs	16
4.1. Nokrišņi.....	16
4.2. Aerosoli.....	18
4.3. Radionuklīdu koncentrācijas pussamazināšanās periods troposfērā.....	24
5. Vides ikgadējo radioaktivitāšu sakarības	25
5.1. Ūdens radioaktivitāte.....	25
5.2. Augšnes un augu radioaktivitāte.....	26
5.3. Nokrišņu un aerosolu radioaktivitāte.....	27
5.4. Vides elementu radioaktivitātes savstarpējā korelācija	28
5.5. Vides radioaktivitāte un kodolsprādzieni	29
5.6. Daži radioķīmisko, radiometrisko un γ -spektroskopijas analīžu rezultāti	30
5.7. Černobilas kodolkatastrofas sekas Salaspils apkārtnē	30
6. Nobeigums	34
7. Pielikumi	36
8. Literatūra	38

1. Ievads.

Kopš 1961.g. 25.septembra Salaspilī darbojas pētnieciskais kodolreaktors IRT. Saskaņā ar radiācijas drošības noteikumiem [1,2] un pasaules praksi kodolreaktora apkārtņē ir jāveic vides dažādu elementu radiācijas sistemātiski mērījumi, t.i. radiācijas monitoringa, lai sekotu vai kodolreaktora darbība nepaaugstina radionuklīdu daudzumu vidē. Monitoringu kopš 1966.g. Salaspils kodolreaktora apkārtņē veica LZA Fizikas institūta darbinieku grupa, kuru visu laiku vadīt šī promocijas darba autoram pienācās.

Ar laiku, kad pēc daudziem mērījumiem varēja secināt, ka reaktora iespaids uz vidi praktiski nav konstatējams tā niecīguma dēļ, reaktora monitoringa faktiski kļuva arī par vispārējas nozīmes radiācijas monitoringu, kas ļāva kontrolēt vides dažādu elementu - atmosfēras, nokrišņu, virsūdens, gruntsūdens, augsnes, augu - radioaktivitātes līmeni samērā plašākā apkārtņē (no Rīgas līdz Iškšķīlei) daudzus gadus. Līdz pat 1991.gadam Latvijas hidrometeoroloģiskais dienests vides paraugus tikai savāca, nosūtot pēc tam tos radioaktivitātes mērīšanai uz Obņinsku (Krievijā) [39]. Tādējādi Salaspils kodolreaktora vides monitoringa grupa daudzus gadus Latvijā bija vienīgā, kura veica samērā plašu, kaut arī teritorijā ierobežotu, vides radioaktivitātes kontroli.

Disertācijas mērķis ir pierādīt, ka Salaspils kodolreaktors nav kaitējis apkārtējai videi un parādīt vides elementu radioaktivitātes ikgadējo līmeņu maiņu cēloņus un kopsakarības. Ja piesārņojums ir relatīvi augsts (salīdzinot ar dabisko līmeni), tad nav problēmu, lai to konstatētu. Ja vides piesārņojums ir niecīgs, tad nepieciešami daudzi mērījumi (skat. 1.zīm.), kas ļautu iegūt statistiski drošus mērījumu rezultātus un izdarīt pamatotus slēdzienus.

Promocijas darba (disertācijas) ietvaros apkopoti un analizēti 3836 mērījumu (paraugu) rezultāti, kuri iegūti Salaspilī un tās apkārtņē laikā no 1966.g. līdz 1995.g. (skat. 1.zīm.), kā arī veikta aerosolu radioaktivitātes datu salīdzināšana ar datiem, kuri iegūti gaisa kontroles stacijās Vācijā un Norvēģijā laikā no 1973.g. līdz 1985.g. (skat.4.2.nod.).

Disertācijā veiktā monitoringa rezultātu secinājumi ir aktuāli arī tagad, kad ir zināms, ka Salaspils kodolreaktors, līdzīgi kā daudzi citi reaktori tiek apturēts un gatavots tā likvidācijai.

Disertācija sastāv no ievada, četrām nodaļām un nobeiguma.

2. nod. sniegti Salaspilī veiktā radiācijas monitoringa vispārīgs raksturojums, tā satura īss apraksts, paraugu mērīšanas un rezultātu apstrādes metodikas būtība, īsa informācija par pielietoto mēraparatūru (γ - spektrometru, β -radiometru un detektoriem) un tās kalibrēšanu.

3. nod. apkopoti un analizēti monitoringa rezultāti saistībā ar Salaspils kodolreaktora enerģijas izstrādes ikmēnešu un ikgadējiem datiem, kā arī monitoringā novēroto dabas objektu radiācijas līmeņi sakarībā ar tā atrašanās vietu attiecībā pret reaktora novietojumu.

4.nod. analizēti atmosfēras (nokrišņu, aerosolu, putekļu) radioaktivitātes ikmēnešu relatīvie un absolūtie vidējie dati, kas norāda uz to sezonas raksturu Salaspilī un salīdzināti ar aerosolu γ - spektroskopijas datiem, kuri iegūti vācu gaisa kontroles stacijās Vācijā un Norvēģijas ziemeļos, kā arī līdzīgiem datiem Taškentā.

5. nod. analizēti vides elementu (ūdens, augsnes, augu, nokrišņu, aerosolu) ikgadējo radioaktivitāšu savstarpējā korelācija. γ -spektroskopijā un radioķīmiskajās analizēs iegūtie dati par radionuklīdu sastāvu vidē un to saistību ar kodolieroču izmēģinājuma sprādzieniem atmosfērā. Te analizētas arī Černobilas kodolkatastrofas sekas Salaspilī apkārtņē, balstoties uz vides paraugu γ -spektroskopijas datiem.

2. Monitoringa vispārējs raksturojums.

Monitoringa saturs.

Salaspils kodolreaktors IRT, kā pētnieciskais ūdens-ūdens tipa kodolreaktors ar nehermētisku bāku, normālā darba režīmā ar vidi ir saistīts sekojoši:

- reaktora bāka, tehnoloģiskās un eksperimentālās iekārtas ar ventilācijas sistēmu ir **nepārtraukti** saistīta ar atmosfēru, izvadot tajā gaisu (arī r/a gāzes), kas ar filtriem tiek attīrīts no r/a aerosoliem;

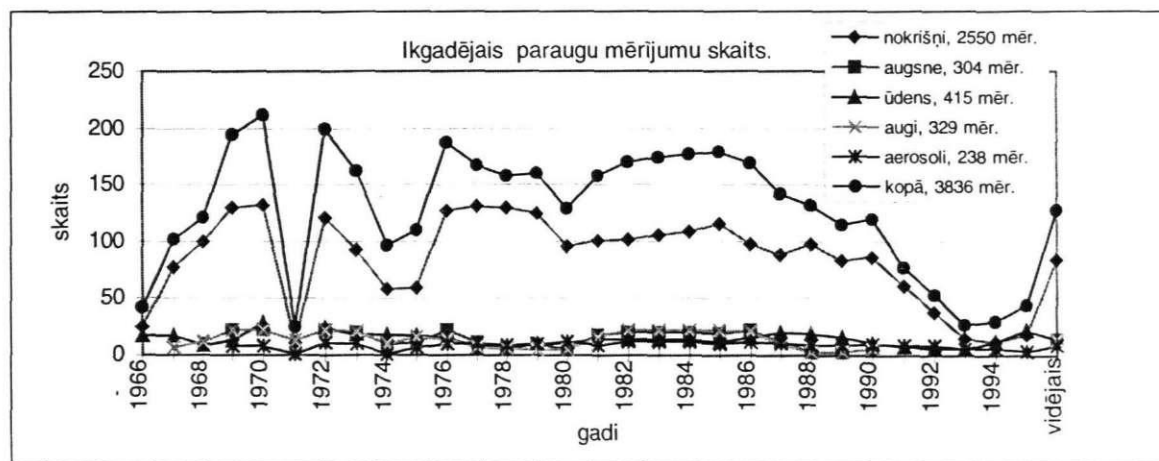
- no lokālās r/a notekūdens savākšanas un attīrīšanas sistēmas **periodiski** tiek izvadīts **attīrīts** ūdens, kas nokļūst Salaspils pilsētas kanalizācijas sistēmā ;
- cietie atkritumi tiek uzglabāti un **periodiski** aizvesti uz cieto r/a vielu centālo glabātuvi.

Radioaktīvo vielu izplūde vidē var notikt sekojošos *ārkārtējos* gadījumos (un divi tādi gadījumi Salaspils reaktorā ir notikuši [27,28]):

- ja rodas sūce reaktora bākā vai 1.kontūrā un no tiem izplūst 1.kontūra dzesēšanas ūdens, piesārņojot grunti un pazemes ūdeņus ar dažādiem radionuklīdiem (skat. 1. pielikumu 34 lpp),
- ja radioaktīvas vielas nokļūst parastajā kanalizācijā, piesārņojot kanalizācijas sistēmas un (vai) upes un novadgrāvjus,
- ja bojāti ventilācijas sistēmas gaisa filtri un radioaktīvie aerosoli piesārņo gaisu un pēc tam augsni, augus, ūdens baseinus .

Veicot monitoringu sakaņā ar pieņemto metodiku [3,4,5] , kopš 1966.gada Salaspili tika veikti sekojoši vides summārās β - radioaktivitātes mērījumi:

- nokrišņu (lietus, sniega, putekļu un tml.) - [Bq/m²*mēn],
- aerosolu - [μ Bq/m³],
- 5 cm dziļas augsnes virskārtas - [kBq/m²],
- augu, kuru saknes un stublāji iegūti atdalot tos no 5 cm dziļas augsnes virskārtas parauga - [Bq/kg],
- ūdens atklātos ūdeņos baseinos (Daugavā, dīķos, novadgrāvjos) - [Bq/l],
- gruntsūdens 4 - 10 m grunts dziļumā tiešā reaktora tuvumā (no 5 līdz 100 m attālumā no reaktora) - [Bq/l],
- dzeramā ūdens artēziskajās akās (no 100 līdz 1000 m attālumā no reaktora) - [Bq/l],
- kodolreaktora saimniecisko notekūdeņu - [Bq/l].



1.zīm. Dažādu vides elementu ikgadējais izmērīto paraugu skaits visā monitoringa periodā no 1966.g. līdz 1995.g.

Radionuklīdu precīzāka sastāva noteikšanai paraugos tika veikti sekojoši paraugu mērījumi:
 γ -kodolspektroskopija- radionuklīdu identificēšanai un to koncentrācijas noteikšanai (šī metodika tika izstrādāta un ieviesta, autoram piedaloties vairāku kodolu spektru pētīšanā [46-53]),
 - β - efektīvā pussabrukšanas perioda un E_{β}^{\max} noteikšana,
 - radioķīmiskā analīze ⁹⁰Sr īpatnējās radioaktivitātes noteikšanai.

Metodika.

Radionuklīdi, kuri rodas kodolreaktora IRT vai jebkura cita tipa kodolreaktora darbības gaitā un kuri var nokļūt vidē, ir galvenokārt β - un γ - izstarotāji. Arī globālā radioaktīvā piesārņojuma, ko radīja kodolieroču izmēģinājumi, radionuklīdi ir β - un γ -izstarotāji. Šī iemesla dēļ

ikdienā radiācijas monitorings var balstīties un arī visā pasaulē balstījās [45] uz dabas objektu paraugu summārās β -radioaktivitātes noteikšanu, t.i., paraugu saturošo visu β -radionuklīdu kopīgo radioaktivitātes mērīšanu, radionuklīdu identifikācijā un īpatnējās radioaktivitātes noteikšanā paraugos, izmantojot γ -spektroskopiju un radioķīmisko analīzi. Pēdējās metodes ir ļoti dārgas un ikdienišķos mērījumos nav nepieciešams tās izmantot.

Vides elementu paraugus vāca vietās, kas atbilst pieņemtās metodikas [3,4,5] prasībām t.i. dažādos attālumos un virzienos no kodolreaktora gan 1 km sanitārajā zonā gan t.s. kontrolvietās dažādos attālumos no reaktora piem. Salaspils Botāniskajā dārzā (1.5 km), Rīgā (20 km), Ikšķilē (10 km).

Nokrišņus paraugus vāca nepārtraukti ik mēnesi nerūsējošos tērauda kvadrātiskos traukos (40×40×10 cm), kuri uzstādīti 1.5 m augstumā. Astoņi tādi trauki bija uzstādīti reaktora sanitārajā zonā un vēl pa vienam Rīgā, Ikšķilē un Salaspils Botāniskajā dārzā.

Augsnes un augu paraugus ņēma divas reizes gadā tuvu tām vietām, kur novietotas nokrišņu savākšanas ierīces.

Aerosolu parauga savākšanai sanitārajā zonā apm. 0.5 km attālumā no reaktora ir ierīce, kurā ventilators ar jaudu apm. 1900 m³/h sūknē gaisu caur 1380 cm² filtra FPP-15 [44] materiālu 1 - 4 diennaktis. To darīja reizi mēnesī.

Paraugu apstrāde notika laboratorijā saskaņā ar metodikām [3,4,5] ar nolūku tos sagatavot tā, lai mērīšana notiktu visefektīvākos apstākļos t.i. paraugus saturošie radionuklīdu izstarotie γ -kvanti vai β -daļiņas maksimālā skaitā varētu nokļūt reģistrējošā ierīcē - gāzu izlādes skaitītājā vai γ -detektorā. Tam nolūkam cietie paraugi tika izžāvēti un pārpelnoti mufeļa krāsnī ierobežotā temperatūrā (līdz 400°C) un šķidrie paraugi - pārtvaicēti un (vai) pārpelnoti.

Mērīts tika galvenokārt paraugu β - un γ -starojums, izmantojot gāzu izlādes β -daļiņu skaitītājus (STS-6, STS-5, MST-17 un SBT-13) un mēriekārtu UMF-1500 ar pazeminātu fonu, jo β -daļiņu skaitītājs atradās svina aizsardzībā, bet tam apkārt γ -skaitītāji antisakrišanas režīmā. Iekārtas komplektā ir impulsu skaitītājs un reģistrators. Paraugu γ -spektrus, izmantojot kodolspektroskopijā izstrādātās metodikas [46-50], uzņēma ar daudzkanālu analizatoriem, kuros izmantoja scintilācijas detektorus sešdesmitajos gados un augstas izšķiršanas spējas pusvadītāju Ge(Li) γ -detektorus vēlākajos gados [37-39].

Mēriekārtu kalibrēšana.

Aparatūras UMF-1500 kalibrēšana regulāri notika ar dabīgā KCl etaloniem. Dabā radionuklīds ${}_{19}\text{K}^{40}$ ir 0.01178% ± 0.00004% un tā galvenie dati ir sekojoši: β^- (%) = 89.33 ± 1, $T_{1/2} = (1.277 \pm 0.08) \cdot 10^9$ gadi, $E_{\beta^-} = 1.325 \pm 0.025$ MeV, $E_{\gamma} = 1.46075 \pm 0.00006$ MeV, $q_{\text{KCl}} = 14.63$ kBq/kg ± 1% [8]. Kālija etalonu izmantošana mēriekārtu graduēšanai, kuras izmanto tādu vides paraugu, kuri satur dabisko radionuklonu vidū arī urāna dalīšanās produktus, summārās β -radioaktivitātes mērīšanai, ir plaši izplatīta. Tas pamatojas uz to, ka K^{40} β -daļiņu reģistrācijas efektivitātes atkarība no parauga biezuma ir tāda pati kā urāna dalīšanās produktu, kuru vecums ir 2 - 10 gadi, β -daļiņu reģistrācijas efektivitātes atkarība [6,7].

γ -spektrometra kalibrēšanai pielietoja OSGI un "AMERSHAM" kalibrēšanas avotus - ${}^{241}\text{Am}$, ${}^{137}\text{Cs}$, ${}^{60}\text{Co}$ u.c.. Izmantotā metodika un mēraparatūra pieļāva kontrolēt visus raksturīgākos radionuklīdus, kuri var nokļūt vidē no kodoliekārtām un kodolsprādzieniem rezultātā, izņemot tritiju.

Promocijas darba gaitā ar publicētajiem datiem [9-34] tika veikti aprēķini, kuru pamatprincipi tālāk tiek paskaidroti:

vides objekta (piem. diļa ūdens) **g**-tā **gada vidējo** radioaktivitāti aprēķināja sekojoši:

$${}_g A^v = \frac{1}{k} \sum_{m=1}^k {}_g A_m^v,$$

kur ${}_g A_m^v$ ir vides objekta **g** - tā gada **m** - tā mēneša (piem. m=11, t.i. novembra) vidējā radioaktivitāte,

k - mēnešu skaits g -tā gadā, kurā veikti attiecīgie mērījumi un aprēķināta mēneša vidējā radioaktivitāte $g A_m^v$;

vides objekta m -tā mēneša vidējo radioaktivitāti aprēķināja pēc formulas:

$$g A_m^v = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n g A_m^p$$

kur n ir vides objekta paraugu skaits m -tā mēnesī un $g A_m^p$ ir **atsevišķa parauga** radioaktivitāte;

vides objekta g -tā gada m -tā mēneša relatīvo vidējo radioaktivitāti aprēķināja sekojoši:

$$g R_m^v = \frac{g A_m^v}{g A^v};$$

perioda p , kura sākuma gads ir $p1$ un beigu gada ir $p2$, vides objekta m -tā mēneša **vidējo relatīvo radioaktivitāti** aprēķināja sekojoši:

$$p R_m^v = \frac{1}{p2-p1} \sum_{g=p1}^{p2} g R_m^v;$$

vides objekta vidējās radioaktivitātes standarta izkliede:
kur

A_i - **atsevišķu paraugu** radioaktivitāte vai vides objekta **atsevišķu mēnešu** (kad aprēķina gada vidējo radioaktivitāti) vai **atsevišķa gada** vidējā radioaktivitāte (kad aprēķina perioda vidējo radioaktivitāti) un n - paraugu vai mērījumu rezultātu skaits.

$$\sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n A_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n A_i\right)^2}{n(n-1)}}$$

Divu objektu radioaktivitāšu X un Y savstarpējās korelācijās (laikā) koeficientu ρ aprēķina sekojoši:

$$\rho_{x,y} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_j - \mu_x)(y_j - \mu_y)}{\sigma_x * \sigma_y}$$

kur μ_x un μ_y - ir divu objektu radioaktivitāšu X un attiecīgi Y vidējās vērtības, σ_x un σ_y vidējo lielumu μ_x un μ_y standarta izkliede, x_j un y_j lielumu X un Y atsevišķu mērījumu rezultāti (mērīti vienlaicīgi).

3. Salaspils kodolreaktora darbība un monitoringa rezultāti.

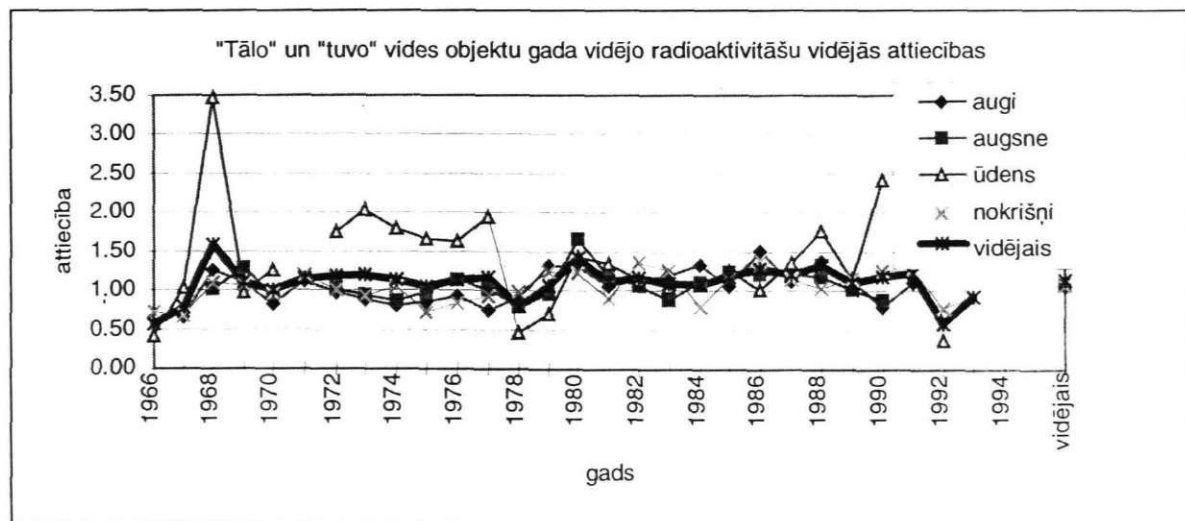
Situācijā, kad nav izteikti lokāla vides radioaktīvā piesārņojuma, var izmantot divus vispārīgus principus vides radioaktivitātes mērījumu rezultātu salīdzināšanai, lai varētu ko secināt par vides pat zema līmeņa radioaktīvu piesārņojumu kodolreaktora apkārtnē:

- kodolreaktors kā vides potenciāls piesārņotājs *tuvākos* dabas objektus piesārņo *vairāk nekā tālākos* un kādā noteiktā *virzienā* vairāk kā citos (*telpiskā* sakarība);
- vides piesārņošanas intensitāte (jauda), kā arī piesārņošanas rezultāts (integrālā aktivitāte) ir tiešā atkarībā (korelācijā) no reaktora kodolenerģijas izstrādes līmeņa (jaudas), ritma un visas pirms tam izstrādātās kodolenerģijas daudzuma.

3.1. "Tālo" un "tuvo" vides elementu radioaktivitāte.

Lai izpētītu, vai daudzu gadu vides radioaktivitātes mērījumu rezultātu vidējie lielumi, kas iegūti no paraugiem reaktoram *tālākajos* (A_{ta}) un *tuvākajos* (A_{tuv}) vides objektos, ļauj izdarīt secinājumus par vides radioaktivitātes līmeņa atšķirību no attāluma līdz reaktoram, ar monitoringa visu (un katra) gadu datiem [9-33] izdarīti sekojoši aprēķini:

katram vides elementam, kā *augi*, *augšne*, *ūdens*, *nokrišņi*, nosaka katra gada vidējo radioaktivitātes līmeni reaktoram tālāko objektu paraugiem ${}_gA_{ta}$, kā arī reaktoram tuvāko objektu paraugiem ${}_gA_{tuv}$; pēc tam aprēķina attiecību ${}_gR_{tt} = {}_gA_{ta} / {}_gA_{tuv}$ katram vides elementam. Izmantojot ${}_gR_{tt}$ kā piesārņojuma kritēriju, automātiski tiek kompensētas ikgadējās globālās vides radioaktivitātes izmaiņas un "tīrā" veidā parādās *tālā / tuvā* efekts, t.i. kodolreaktora iespaids uz vidi. Aprēķinātās 28 gadu attiecības četriem vides elementiem atrodamas 1.tabulā, kur vēl ievietotas katra vides elementa visu gadu vidējās ${}_gR_{tt}$, to vidējā kvadrātiskā izkliede kā arī izmērītais paraugu skaits (skat. arī 3.zim.).



2.zim. Augu, augsnes, ūdens un nokrišņu "tālo" un "tuvo" objektu gada vidējo radioaktivitāšu vidējās attiecības ${}_gR_{tt}$ laikā no 1966.g. līdz 1995.gadam.

Bez tam 1.tabulā ir atrodamas katra gada visu vides elementu kopīgā vidējā ${}_gR_{tt}$ (skat. arī 2.zim.). IZRĀDĀS, ka visu 28 gadu četrus vides elementu kopīgā vidējā ${}_gR_{tt} = 1.07 \pm 0.4$.

2. zim. parādītas ikgadējās vidējās ${}_gR_{tt}$ atsevišķi *augiem*, *augšnei*, *ūdenim atklātos ūdens baseinos un nokrišņiem*, kā arī ikgadējā visu iepriekš minēto vides elementu kopīgo vidējo ${}_gR_{tt}$.

3.zim. attēlotas atsevišķu vides objektu visu 28 gadu vidējās ${}_gR_{tt}$, kā arī šo vidējo ${}_gR_{tt}$ vidējā

kvadrātiskā (standarta) izkliede un mērījumu skaits, no kuriem aprēķināts attiecīgais vidējais lielums.

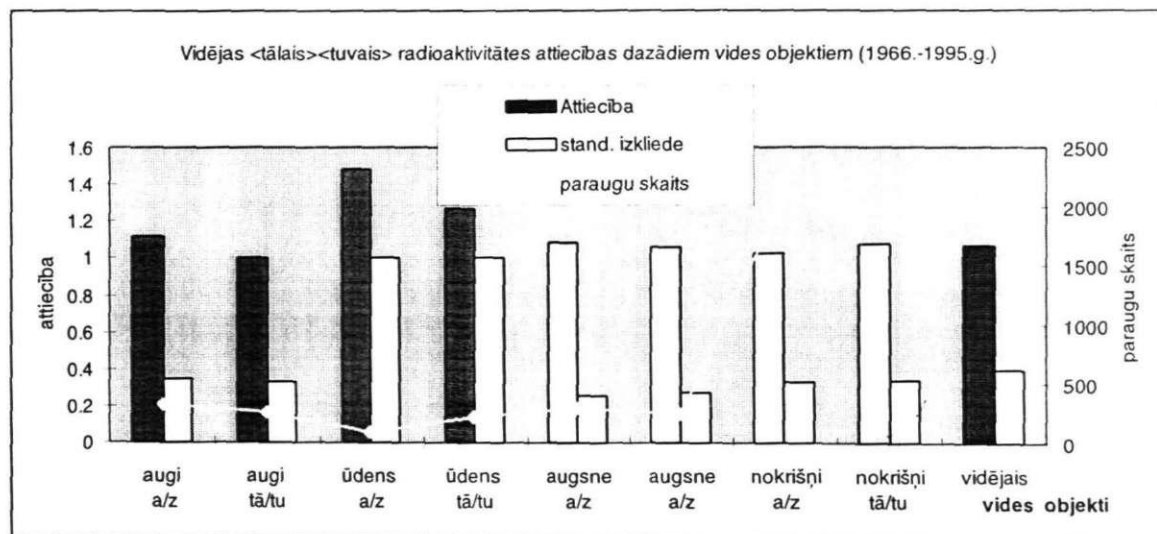
No 1.tabulas un 2. un 3. zīm. datiem varam redzēt, ka

a) visu gadu visu šajā tabulā ietvertu 2955 vides paraugu vidējā radioaktivitāšu attiecība $\sqrt{R_{tt}} = 1.07 \pm 0.4$ un tas norāda, ka vide reaktora tuvumā nav ar augstāku radioaktivitātes līmeni kā tālāk no reaktora;

b) atsevišķu vides objektu visu gadu vidējie $\sqrt{R_{tt}} > 1$ (skat.1.tab. un 3.zīm.), kas nozīmē, ka atsevišķu vides elementu monitoringa rezultāti neuzrāda reaktora darbības iespaidu uz vides radioaktivitātes līmeni;

c) $\sqrt{R_{tt}}$ ūdenim atklātos baseinos (1.48, 1.27) (sk. 3. zīm.) visvairāk pārsniedz 1.00, kā arī tā izkliede ir pati lielākā (± 1.0), jo ūdens radioaktivitātes mērījumu rezultāti ir ar vislielāko statistisko izkliedi sakarā ar 1) ūdens paraugu zemo radioaktivitātes līmeni vispār, 2) nelielo ikgadējo paraugu skaitu un 3) to, ka ūdens paraugu noņemšanas apstākļi nekad nav pilnīgi vienādi (piemaisījumi praktiski nosaka ūdens paraugu radioaktivitāti) un tos grūti kontrolēt;

d) augu, augsnes un nokrišņu visu gadu vidējā $\sqrt{R_{tt}}$ ir šaurā intervālā "abpus" 1.07, t.i. no 1.03 līdz 1.12 ar relatīvi mazāku standarta izkliedi ± 0.3 , kas nozīmē, ka šo vides elementu monitoringa rezultāti ir statistiski stabilākie un drošākie.



3. zīm. Dažādu vides "tālo" un "tuvo" objektu (augu, ūdens atklātos baseinos, augsnes, nokrišņu) visu monitoringa gadu vidējo radioaktivitāšu attiecības $\sqrt{R_{tt}}$; a/z - Salaspils apkārtnes ("tālie") un sanitārās zonas ("tuvie") vides objektu radioaktivitāšu attiecība, tā/tu - radioaktivitāšu attiecība starp "tāliem" (500 -1000 m no reaktora) un "tuvjiem" (100 -500 m) vides objektiem sanitārajā zonā,

Vidējais daudzgadīgais (1966.g.-1995.g.) nokrišņu radioaktivitātes līmenis sanitārajā zonā (skat. 4.zīm.) ir zemāks par attiecīgo līmeni Rīgā un Ikšķilē, bet tikai nedaudz augstāks kā Salaspils Botāniskajā dārzā. Nav novērojama arī nokrišņu radioaktivitātes līmeņa atkarība no kontrolpunkta novietojuma azimuta attiecībā pret reaktoru (skat. 5.zīm.) un tas liecina, ka nav nekāda reaktora ventilācijas izmešu iespaids uz vidi. Ja tāds iespaids būtu, tas parādītos kā paaugstināta nokrišņu radioaktivitāte varbūtīgākā vēja virzienā.

1.tabula . Vides elementu "tālo" un "tuvo" objektu ikgadējo vidējo radioaktivitāšu attiecības R_n .

gads	augi	augi	ūdens	ūdens	augšne	augšne	nokrišņi	nokrišņi	visi objekti vidējais
	apk./z.	tāl./tuv.	2.d./1.d	apk./z.	apk./z.	tāl./tuv.	B.d./z.	tāl./tuv.	
1966				0.41				0.72	0.68
1967	0.66			1.03				0.67	0.70
1968		1.26		3.46	1.01		1.09	1.09	1.39
1969	1.22	1.00	0.53	1.41	1.67	0.91	1.09	1.04	1.26
1970	0.88	0.75	1.23	1.28	0.83	1.07	0.93	0.99	1.09
1971	1.10	1.14					1.00	1.38	1.34
1972	1.00	0.93	0.25	3.26	1.04	1.00	1.01	0.99	1.23
1973	0.86	0.92	3.59	0.48	0.96	0.92	1.08	0.77	1.13
1974	0.82	0.79	0.32	3.27	0.72	1.02		1.05	1.09
1975	0.84	0.87	2.67	0.67	0.88	1.07	0.26	1.17	0.81
1976	0.97	0.89	0.46	2.79	0.98	1.29	0.80	0.87	1.07
1977	0.77	0.73	3.18	0.72	0.95	1.08	0.80	1.05	1.06
1978	1.27	0.56	0.49	0.45	0.75	0.85	0.91	1.08	1.05
1979	1.40	1.24	0.85	0.55	0.92	0.98	1.30	1.19	1.38
1980	1.67	0.97	0.89	2.00	1.21	2.12	1.54	0.91	1.56
1981	0.97	1.14	2.19	0.51	1.37	1.02	0.87	0.93	1.09
1982	0.99	1.27	1.81	0.46	1.05	1.06	1.83	0.90	1.57
1983	1.43	0.98	1.41	0.70	0.78	1.00	1.47	1.04	1.41
1984	1.97	0.68	1.02	1.14	1.18	1.03	0.90	0.69	1.06
1985	1.27	0.85	1.31	1.21	1.36	1.12	1.37	0.97	1.38
1986	1.90	1.12	1.13	0.89	1.30	1.13	0.41	2.36	1.35
1987	1.05	1.19	2.07	0.65	1.63	0.80	0.95	1.36	1.28
1988	0.64	2.11	3.03	0.50	1.29	1.07	1.05	1.02	1.26
1989	1.14		1.21	1.08	1.01	1.02	1.00	1.29	1.27
1990	0.99	0.59		2.42	0.98	0.80	1.07	1.44	1.35
1991	1.10						1.05	1.52	1.45
1992				0.38				0.78	0.73
1993								0.92	0.92
vid. att. R_n	1.12	1.00	1.48	1.27	1.09	1.06	1.03	1.08	1.07
st. izkliede	0.35	0.33	1.00	1.00	0.26	0.27	0.33	0.34	0.31
v.sk. gadā	13.16	12.43	4.50	9.04	13.82	11.48	110.87	66.21	
skaits	329	261	90	226	304	241	2096	1854	

Paskaidrojumi 1.tabulai:

apk - apkārtnē ap kodolreaktora sanitāro zonu,

z. - reaktora sanitārā zona ar radiusu 1 km,

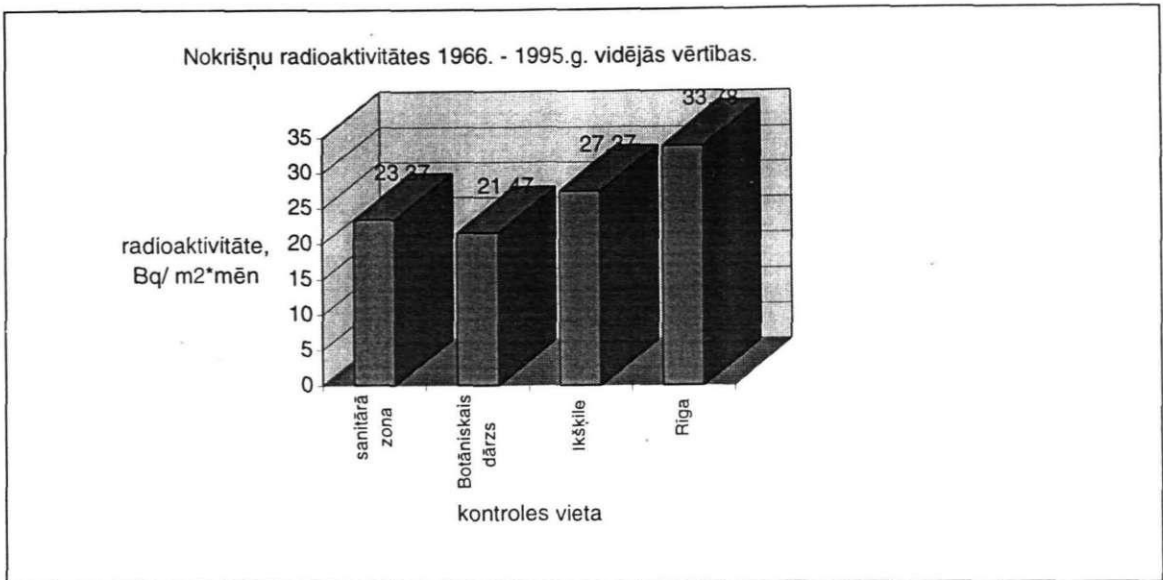
tāl - kontrolpunkti sanitārā zonā, kuri atrodas 500 m un tālāk no reaktora,

tuv - kontrolpunkti sanitārā zonā, kuri atrodas tuvāk par 500 m,

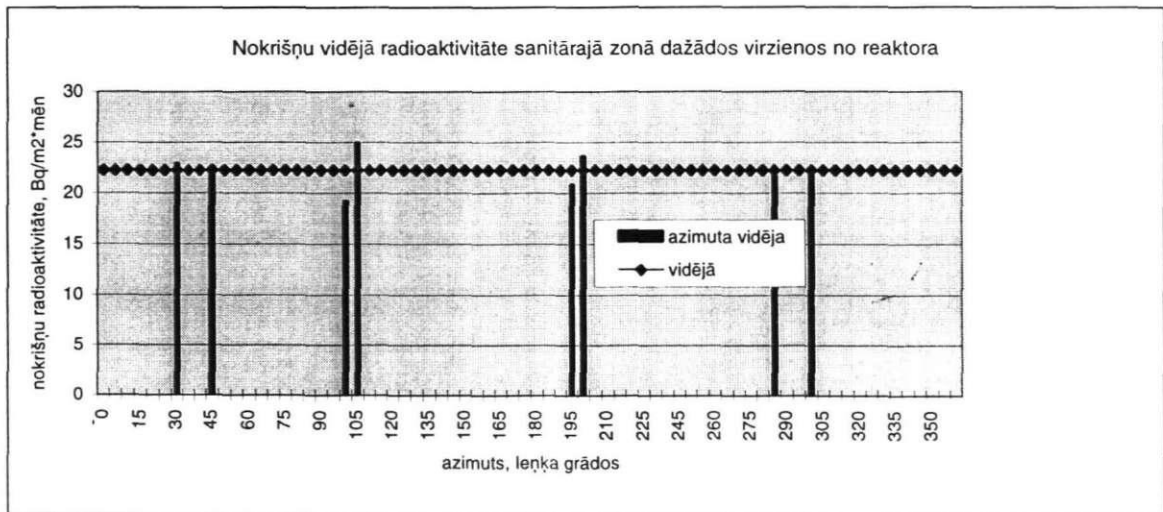
B.d. - Salaspils Botāniskā dārza teritorija apm. 2 km no reaktora,

2.d. - ģipša raktuves dīķis ārpus sanitārās zonas apm. 1.5 km attālumā,

1.d. - ģipša raktuves dīķis sanitārajā zonā apm. 0.5 km attālumā,



4.zīm. Nokrišņu 1966.-1995.g. vidējā radioaktivitāte kodolreaktora sanitārajā zonā, Salaspils Botāniskajā dārzā, Ikšķīlē un Rīgā.

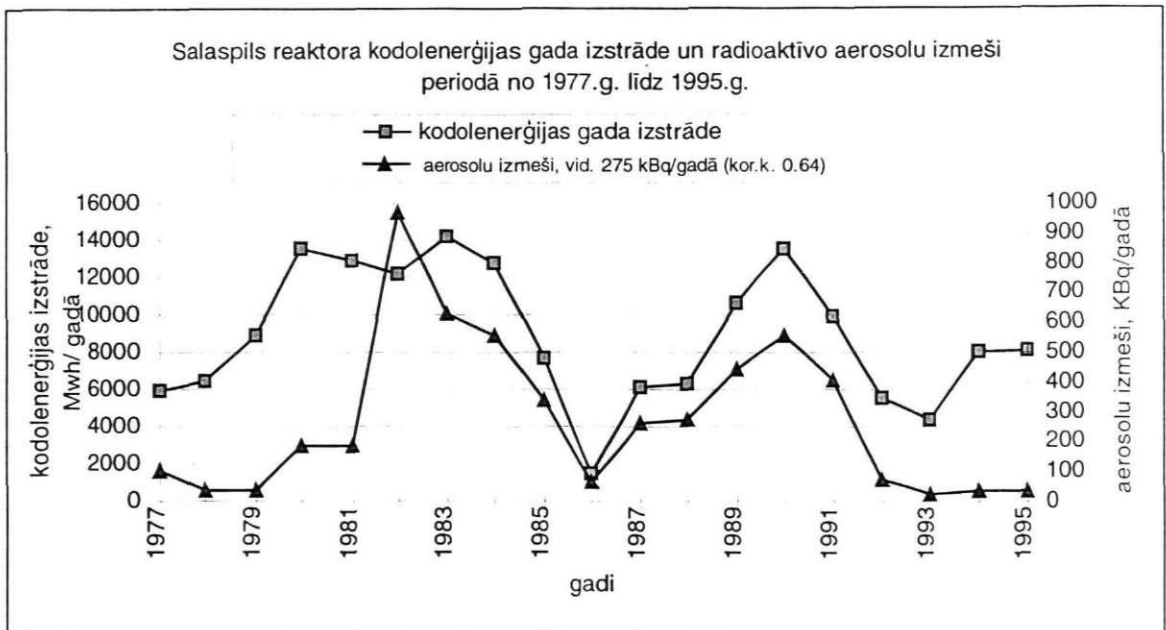


5.zīm. Nokrišņu 1966.g. - 1995.g. vidējās radioaktivitātes sadalījums pa debess pusēm ap reaktoru sanitārajā zonā (8 kontrolpunktu dati).

Secinājums: vide reaktora tuvumā nav bijusi un nav arī tagad ar augstāku radioaktivitātes līmeni kā tālāk no reaktora.

3.2. Korelācija starp Salaspils kodolreaktora enerģijas izstrādi un vides radioaktivitāti.

No kodolreaktora ar ventilācijas sistēmu atmosfērā izvada zināmu daudzumu radioaktīvo aerosolu. Salaspils kodolreaktora gada vidējie radioaktīvo aerosolu (ar $T_{1/2} > 4$ mēn.) izmeši pēc mērījumiem, kas veikti no 1977.g. līdz 1995.g.[15-33](skat. 6. zīm.) ir aptuveni 275 kBq gadā. Ja vērtējam to kā nokrišņu radioaktivitātes (vidēji 240 Bq/ m² gadā) "papildinājumu", tas ir neizmērami mazs lielums - aptuveni 0.2 Bq uz katru sanitārās zonas m² gadā.

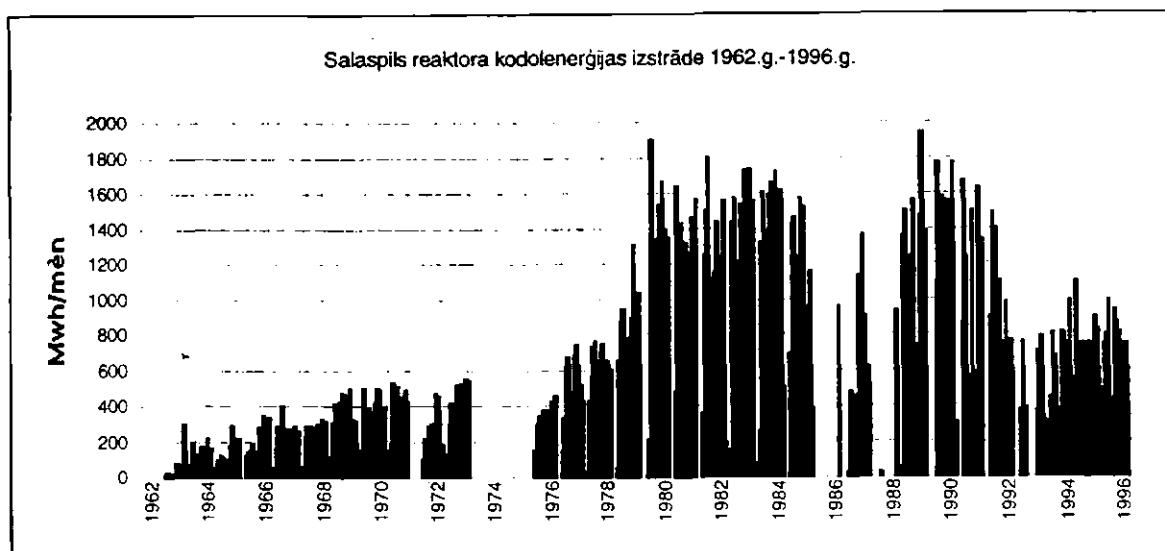


6.zīm. Reaktora kodolenerģijas ikgadējā izstrāde un radioaktīvo aerosolu izmešu ikgadējā vērtības laikā no 1977.g. -1995.g.[15-33].

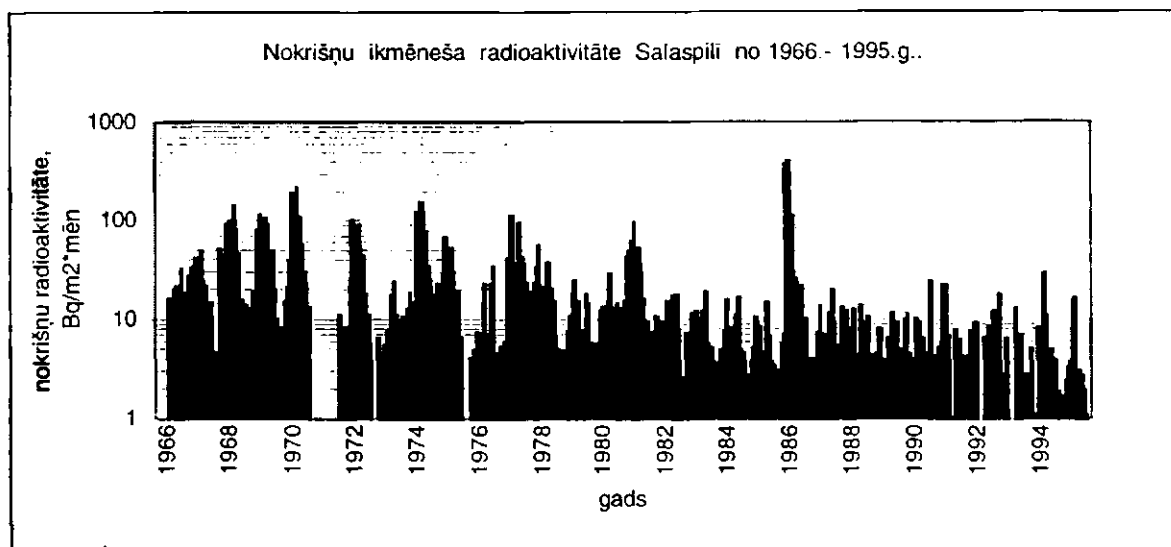
Kā var redzēt no 6.zīm., sakarība starp reaktora katra gada enerģijas izstrādi un izmešu gada radioaktivitāti ir acīm redzama un arī korelācijas koeficients ir liels, t.i. 0.64. Tātad, ir zināma jēga parbaudīt korelāciju starp reaktora visu (un katra) gadu enerģijas izstrādi (kā potenciālās vides piesārņošanas avota gada rādītāju) un nokrišņu gadu vidējo radioaktivitāti Salaspilī (kā potenciālās piesārņošanas rezultāta uzrādītāju).

Vizuāli salīdzinot reaktora kodolenerģijas izstrādes mēnešu grafiku (skat. 7.zīm.) ar nokrišņu radioaktivitātes vidējo mēnešu grafiku (8.zīm.) var redzēt, ka starp tiem nav nekāda tieša sakarība. Pārbaudot sakarību (gan pa mēnešiem, gan pa gadiem) starp nokrišņu kā arī aerosolu radioaktivitāti un reaktora enerģijas izstrādi, ir atrasts, ka korelācijas koeficienti ir negatīvi (2.tabula) un tātad korelācijas šeit nav.

Secinājums: nav nekādas sakarības starp reaktora ikmēnešu (arī ikgadējo) kodolenerģijas izstrādi un nokrišņu vai (un) aerosolu radioaktivitātes ikmēnešu (arī ikgadējo) līmeni.



7.zīm. Salaspils reaktora ikmēnešu kodolenerģijas izstrāde 1962.g. - 1995.g..



8.zīm. Nokrišņu mēnešu vidējā radioaktivāte Salaspilī 1966.g. - 1995.g.[9-33].

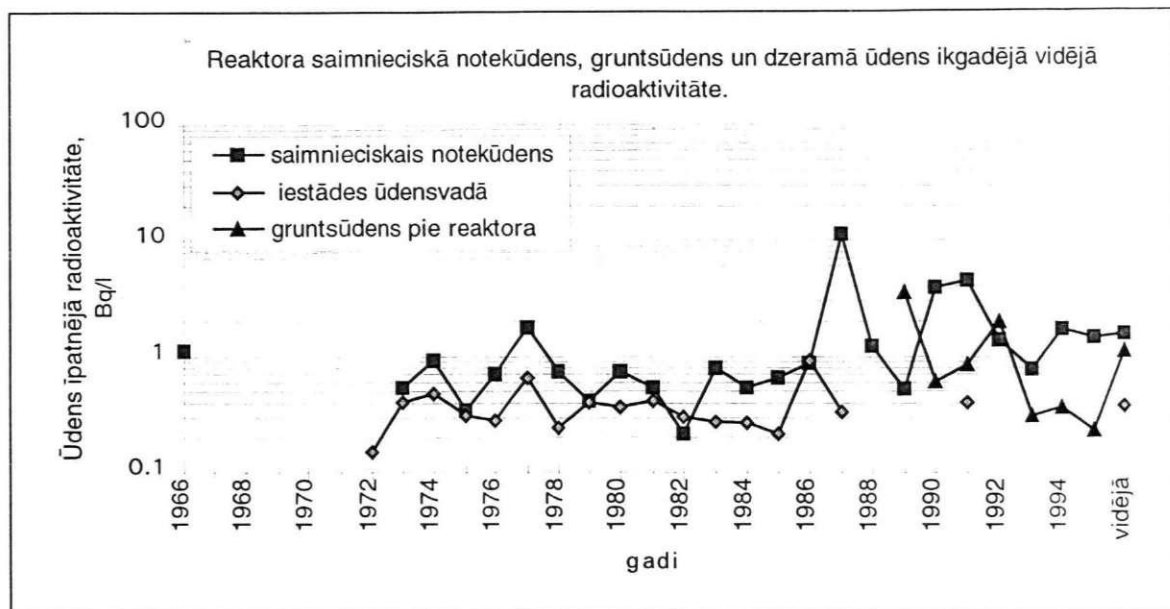
2.tabula. Korelācijas koeficienti starp Salaspils reaktora kodolenerģijas izstrādi un vides objektu radioaktivāti dažādos periodos.

reaktora parametrs	vides objekts	korel. koef.	struktūra	salīdzināšanas gadi
enerģijas izstrāde	nokrišņi	- 0.50	gadu	1966.-1995.
enerģijas izstrāde	aerosoli	- 0.40	gadu	1968.-1995.
enerģijas izstrāde	nokrišņi san. zonā	- 0.21	mēnešu	1966.-1995.
enerģijas izstrāde	aerosoli	- 0.12	mēnešu	1968.-1995.
r/a aerosolu izmeši	aerosoli	- 0.20	gadu	1977.-1995.

Bet kādi var būt cēloņi aerosolu un nokrišņu radioaktivātes ikmēnešu maiņām, kā arī to vidējo datu maiņām pa gadiem, tiek analizēti šī promocijas darba 4. un 5. nodaļā.

3.3. Ūdens radioaktivitāte un kodolreaktora darbība.

9.zimejumā attēloti reaktora saimnieciskā notekūdens, iestādes ūdensvada ūdens un gruntsūdens radioaktivitātes vidējie ikgadējie dati. Te redzams, ka ūdensvadā dzeramā ūdens īpatnējā radioaktivitāte vienmēr ir bijusi zem 1 Bq/l, bet saimnieciskās kanalizācijas notekūdens un gruntsūdens radioaktivitāte reaktora ēkas tuvumā ir "svārstījusies" ap 1 Bq/l.

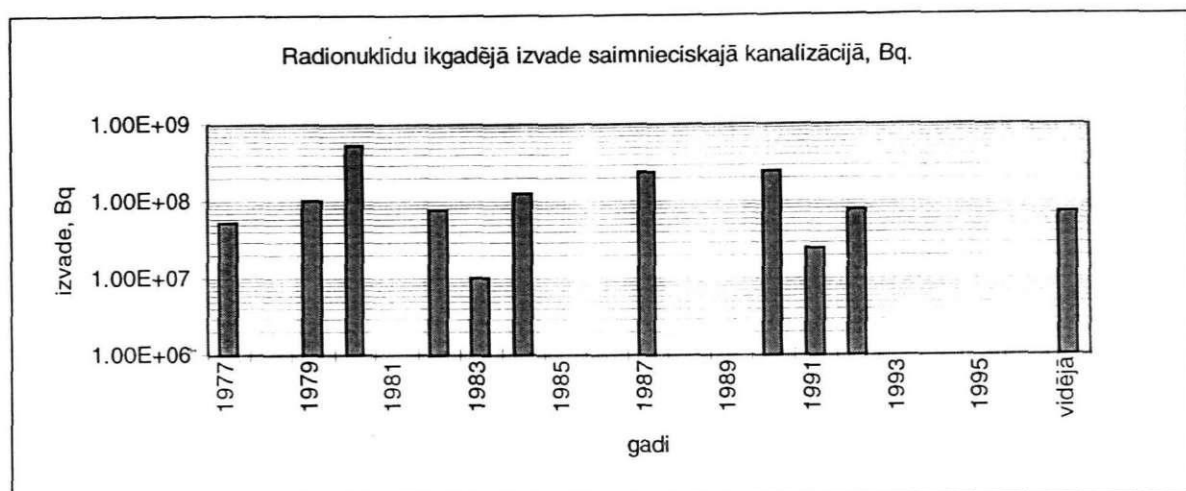


9.zīm. Kodolreaktora saimnieciskā notekūdens, gruntsūdens un ūdensvada ūdens īpatnējās β -radioaktivitātes gadu vidējie dati no 1966.g. -1995.g.[9-33].

Saimnieciskajā kanalizācijā ievada ne tikai saimnieciskos notekūdeņus, bet epizodiski arī kodolreaktora tehnoloģiskos notekūdeņus (skat. 10.zīm.), kuri pirms tam tiek ilgstoši nostādināti un attīrīti no radionuklīdiem līdz pakāpei, ko nosaka valsts sanitārās normas [1]. Saimnieciskajā kanalizācijā var nokļūt arī neattīrīti radioaktīvi notekūdeņi vai pat radioaktīvas vielas, kā tas bija 1980./81.g., kad pieļautā reaktora darbinieka pretlikumīgā darbība radīja sanitārajā zonā lokālu augsnes radioaktīvu piesārņojumu reaktora saimnieciskās kanalizācijas nosēdināšanas laukā [28].

Par attīrīšanas pakāpes kritēriju vienmēr bija ^{90}Sr daudzums notekūdenī, jo šim radionuklīdam salīdzinot ar citiem radionuklīdiem, kas parasti ir kodolreaktora notekūdeņos (skat. 3.tab.), ir vismazākā (10 - 100 reižu) pieļaujamā īpatnējā radioaktivitāte, t.i. 14.8 Bq/l [1]. Pietiekami ilgi 100 m³ baseinos notekūdeņus nostādinot (1- 3 gadus), pēc tam veicot attīrīšanu pirms izvades saimnieciskajā kanalizācijā ir bijis iespējams vienmēr iekļauties radiācijas drošības normu ietvaros un vidējos gada rādītājos nepārsniegt noteiktos kontroles līmeņus.

Reaktora saimnieciskā notekūdens īpatnējās β - radioaktivitātes daudzu gadu vidējā vērtība ir 1.6 Bq/l un, salīdzinot to ar ūdens vidējās radioaktivitātes līmeni citos dabas objektos Salaspils apkārtnē (skat. 11.zīm.), redzam, ka arī tā ir zema.



10.zīm. Attīrītā kodolreaktora notekūdens izvade saimnieciskajā kanalizācijā periodā no 1977.g. līdz 1996.g..

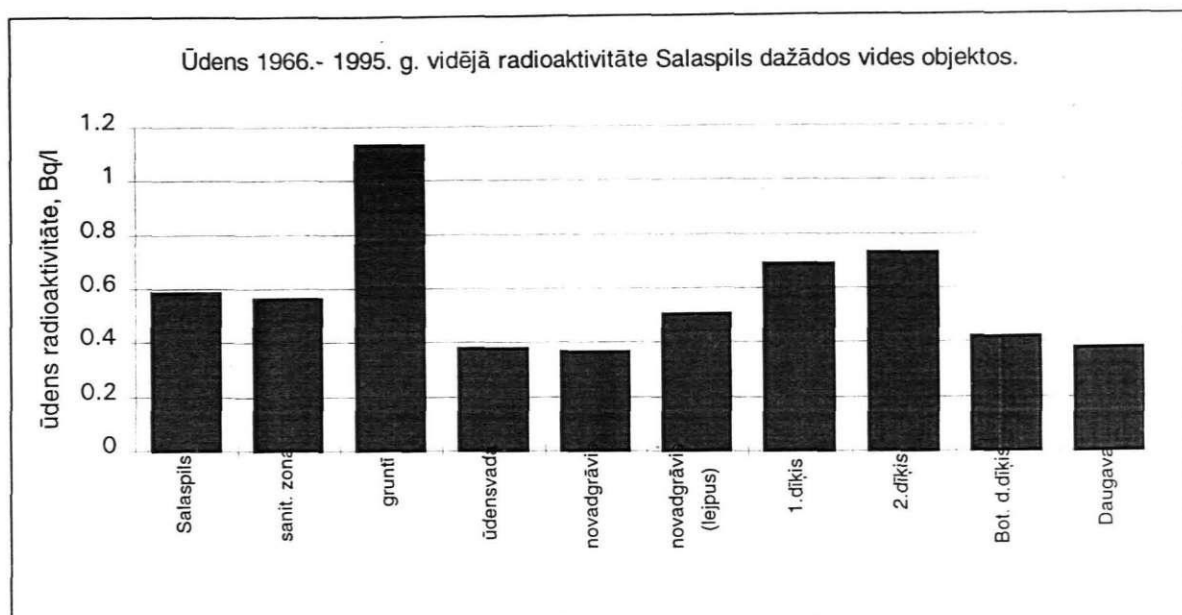
3.tab. Kodolreaktora saimnieciskajā kanalizācijā ievadīto radionuklīdu sastāvs un daudzums laikā no 1985.g. līdz 1996.gadam (Bq).

nuklīdi	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Sb ¹²⁵								1.78E+06				
Co ⁶⁰						7.01E+06		1.11E+06				
Cs ¹³⁴						2.79E+07	4.15E+06	1.24E+07				
Cs ¹³⁷						3.80E+07	1.06E+07	5.99E+07				
Sr ⁹⁰			4.14E+07			7.76E+06	9.44E+06	7.77E+06				
Ce ¹⁴⁴			5.92E+06			6.12E+06		2.22E+06				
Ba ¹³³			5.92E+06			6.12E+06		2.22E+06				
Ru ¹⁰³			5.92E+06			6.12E+06		2.22E+06				
Ru ¹⁰⁶			5.92E+06			6.12E+06		2.22E+06				
Ag ^{110m}			5.92E+06			6.12E+06		2.22E+06				
Eu ¹⁵²			5.92E+06			6.12E+06		2.22E+06				
citi			3.12E+08			2.15E+07	3.77E+05					
A _Σ	0	0	3.89E+08	0	0	1.39E+08	2.45E+07	9.63E+07	0	0	0	0
H ³	0	0	1.75E+11	0	0	1.29E+11	2.64E+10	6.66E+10	0	0	0	0

Secinājums: reaktora saimnieciskā notekūdens daudzu gadu vidējā radioaktivitāte ir pietiekami zema un radionuklīdu koncentrācija tajā ir ievērojami zemāka par sanitāro noteikumu pieļaujamo koncentrāciju.

Regulāri gruntsūdens mērījumi ap reaktora ēku tika uzsākti 1989.gadā, kad notika reaktora 1.kontura ūdens noplūde (sūce) gruntī tieši zem reaktora bākas [27]. Turpmākie gruntsūdens mērījumi parādīja (skat. 9.zīm.), ka izplūdušie radionuklīdi ir turpat zem bākas grunti lokalizējušies un dažu metru attālumā no reaktora ēkas gruntsūdens radioaktivitātes līmenis paliek zems, t.i. ap 1 Bq/l un mazāk un tas nav atkarīgs no attāluma līdz reaktora bācai.

Secinājums: Gruntsūdens radioaktivitātes vidējais līmenis reaktora ēkas apkārtnē ir zems, tas ir dabiskā līmenī un reaktora darbība to neiespaido.



11.zīm. Ūdens daudzgadīgā vidējā īpatnējā β - radioaktivitāte dažādos vides objektos.

paskaidrojumi:

grunts - gruntsūdens reaktora teritorijā,

novadgrāvi lejpūs - lejpūs saimnieciskās kanalizācijas iepļūdes novadgrāvi.

11. zīm. attēlotais ūdens objektu (dīķu, novadgrāvju, Daugavas, artēzisko urbumu u.c.) monitoringa daudzu gadu rezultātu apkopojums parāda, ka kodolreaktora darbība nav paaugstinājusi ūdens radioaktivitātes līmeni Salaspils apkārtnes ūdens baseinos un tas palicis dabiskā līmenī.

Secinājums: kodolreaktora darbība nav paaugstinājusi ūdens radioaktivitātes līmeni Salaspils apkārtnes ūdens baseinos un avotos un tas palicis dabiskā līmenī.

Secinājums. Monitoringa rezultāti statistiski droši parāda, ka Salaspils kodolreaktors nav paaugstinājis tā apkārtnes vides *dabisko* radioaktivitātes līmeni.

4. Atmosfēras radioaktivitātes sezonas raksturs.

Atmosfēras radioaktivitāti raksturo aerosolu un nokrišņu radioaktivitāte. Radionuklīdi izplatās atmosfērā galvenokārt aerosolu formā. Radionuklīdi, kuri radušies kodolieroču izmēģinājumos, vispirms nonāk stratosfērā un pēc tam gaisa masu apmaiņas procesā nonāk atpakaļ troposfērā un arī tās piezemes slāņos. Nokrišņu radioaktivitāte ir gan atkarīga no aerosolu radioaktivitātes, bet vēl lomu spēlē atmosfēras fizikas faktori, kas nosaka nokrišņu formēšanos.

Ir labi novērota sakarība, ka radionuklīdu - kodolu dalīšanās produktu - koncentrācijas maksimums A_{max} atmosfēras piezemes slāņos ir pavasaros un minimums rudenos [41]. Promocijas darba 4. nodaļā ir parādīts kāda ir šī sakarība Salaspils apkārtnē (arī Rīgā).

4.1. Nokrišņi.

Promocijas darba ietvaros ir konstatēts (skat. 4.tab.), ka ir augsta savstarpējā korelācija starp nokrišņu radioaktivitātes ikmēnešu datiem, kas iegūti atstatos kontrolpunktos - Rīgā, Ikšķilē, Salaspils Botāniskajā dārzā un reaktora sanitārajā zonā visos monitoringa gados no 1966.g. līdz 1995.gadam.

Tas pieļauj visu nokrišņu datu izmantošanu tālākajā analizē.

12.zīmējumā ir attēlots nokrišņu radioaktivitātes ikmēnešu vidējā lieluma gada

procentuālais sadalījums četros periodos, sākot ar 1966. un beidzot 1995.gadu. Lai gan šie periodi atšķiras viens no otra ar kodolieroču izmēģinājumu skaitu un jaudu (skat. 13.zīm.), kurus atmosfērā tajā laikā veica Francija un Ķīna un tādēļ arī atšķiras ar vidējo nokrišņu radioaktivitāti - attiecīgi 43, 10, 8, 25 $Bq/m^2 \cdot mēn$ - (sk 14.zīm. un 5.tab.), tomēr nokrišņu ikmēnešu

relatīvās radioaktivitātes vidējie lielumi šajos periodos ir ar samērā augstu savstarpējo korelāciju - kor. k. = 0.4 - 0.8 - (skat. 5.tab.), kas norāda uz to atmosfēras procesu statistisko stabilitāti, kuru darbība rada novēroto samērā izteikto nokrišņu vidējās radioaktivitātes maiņas raksturu pa mēnešiem gada laikā.

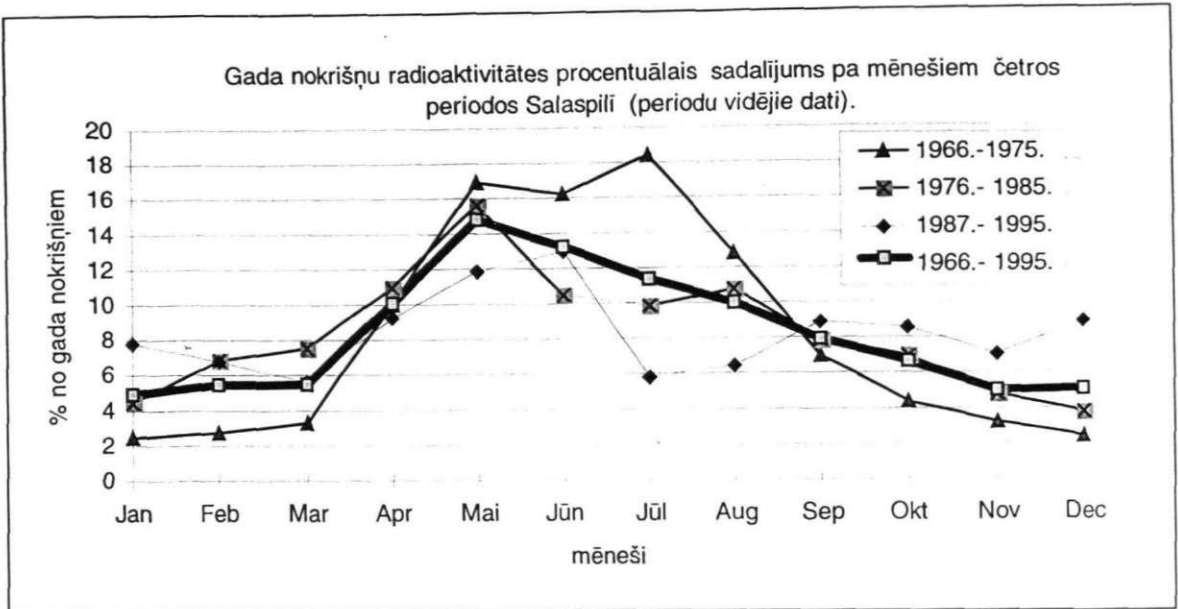
4. tab. Nokrišņu radioaktivitātes ikmēnešu datu savstarpējās korelācijas koeficienti (1966.g.-1995.g. dati Rīgā, Ikšķilē, Salaspilī).

1.k.vieta	2.k.vieta	korel. koef.
Bot.dārzs	Rīga	0.8
Bot. dārzs	Ikšķile	0.81
Rīga	Ikšķile	0.66
San.zona	Ikšķile	0.88
San.zona	Rīga	0.77
San. zona	Bot.dārzs	0.8

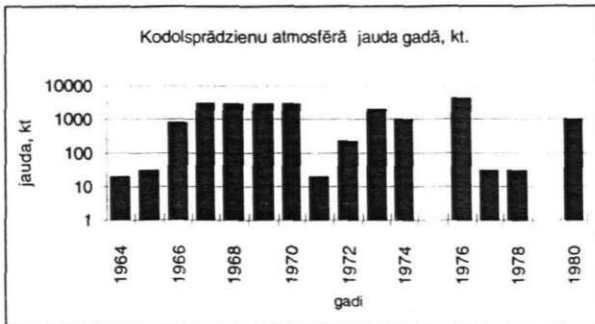
5.tab. Nokrišņu kāda perioda ikmēnešu vidējās relatīvās radioaktivitātes korelācija ar cita perioda tādu pašu vidējo lielumu (kor. k.).

	Nokrišņu vidējā r/a periodā ($Bq/m^2 \cdot mēn$)	gadi	1.	2.	3.	4.
1.	43	66.- 75.g.	///////	0.84	0.39	0.51
2.	10	76.- 85.g.	0.84	///////	0.44	0.92
3.	8	87.- 95.g.	0.39	0.44	///////	0.59
4.	25	66.- 95.g.	0.51	0.92	0.59	///////

Tas, ka ir zināma korelācija starp nokrišņu mēneša daudzumu (masu) - [mm/mēn] un nokrišņu mēneša radioaktivitāti - [$Bq/m^2 \cdot mēn$] rāda 6.tabula, kurā izmantoti Rīgas Hidrometeoroloģiskā centra nokrišņu daudzuma dati. Kā redzams, ir arī gadi (piem. 1986. un 1988.g.) , kad nav nekādas korelācijas. Kāda ir nokrišņu absolūtās radioaktivitātes gada "gaita" atsevišķos periodos un atsevišķos gados attēlots 14.zīm. .



12.zīm. Gada nokrišņu radioaktivitātes procentuālais sadalījums pa mēnešiem četros periodos Salaspilī.



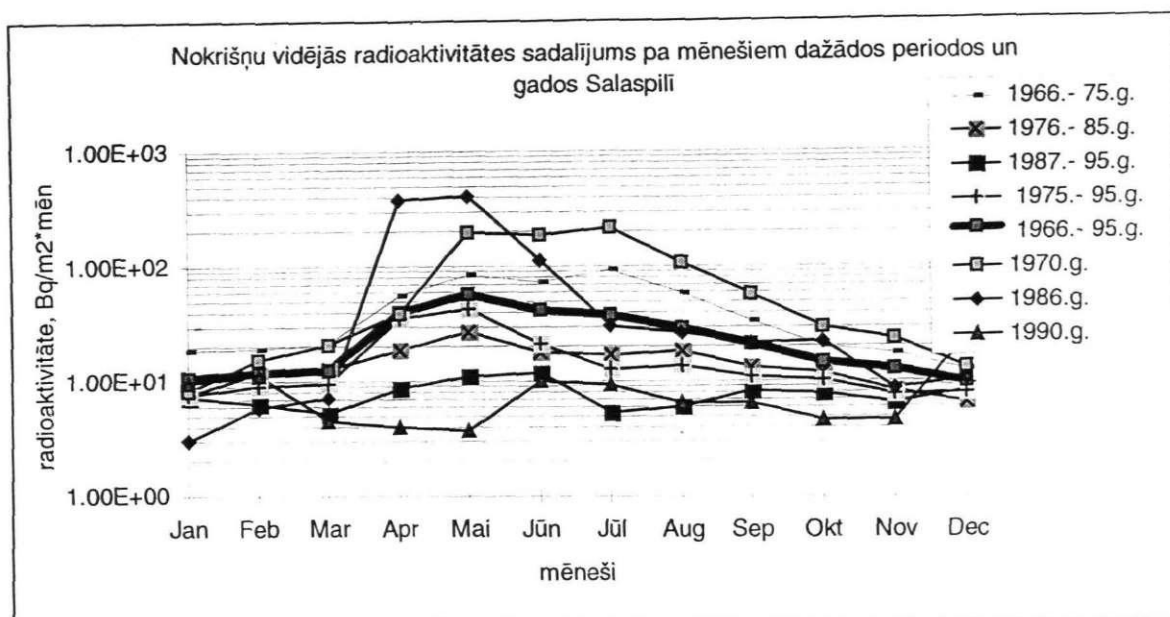
13.zīm. Kodolieroču izmēģinājumu atmosfērā jauda (kt) pa gadiem [40].

6.tab. Korelācijas koeficienti starp attiecīgo gadu nokrišņu ikmēnešu daudzumu (mm/mēn) un to pašu gadu ikmēnešu nokrišņu relatīvo radioaktivitāti (periodiem vidējo).

gadi	kor.koef.
1985.	0.6
1986.	-0.4
1987.	0.24
1988.	-0.41
1989.	0.51
1985.-1989.	0.11
1985.,87.,88.	0.3
1987.-1989.	0.15

12. un 14. zīm. dati parāda, ka Salaspilī nokrišņu radioaktivitātes un tātad arī radionuklīdu koncentrācijas maksimumi A_{max} atmosfēras piezemes slāņos ir: periodā 1966.-1975.g. tas ir jūlijā, periodā 1976.-1985.g. - maijā, 1987.-1995.g. - jūnijā, 1975.-1995.g. - maijā, 1966.-1995.g. - maijā, 1970.gadā - jūnijā, 1990.gadā A_{max} nav novērojams.

No nokrišņu radioaktivitātes datiem izriet, ka -
 - nokrišņu radioaktivitātes gada maksimumi Salaspilī apkārtnē ir maijā vai jūnijā, bet minimums - novembrī, decembrī, janvārī;
 - pēdējos gados, kad pēc pēdējā kodolsprādziena atmosfērā 1980.g. ir pagājuši pietiekoši daudz gadu, nokrišņu radioaktivitātes gada maksimumi nav tik izteikti un ir grūti konstatējami.



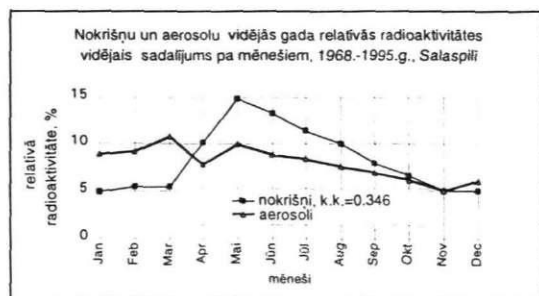
14.zīm. Nokrišņu ikmēnešu vidējā radioaktivitāte Salaspilī dažādos periodos.

Secinājumi.

1. Ir ļoti augsta savstarpējā korelācija starp nokrišņu ikmēnešu datiem, kas mērīti reaktora sanitārajā zonā, Salaspils Botāniskajā dārzā, Ikšķilē un Rīgā (k.k.= 0.6-0.8);
2. Ir augsta savstarpējā korelācija starp periodu *vidējiem* ikmēnešu nokrišņu radioaktivitātes datiem (k.k.= 0.4- 0.9);
3. Ir korelācija starp ikmēnešu nokrišņu daudzumu un ikmēnešu nokrišņu radioaktivitāti, bet tā nav novērojama katru gadu;
4. Nokrišņu radioaktivitātes gada *maksimumi* Salaspils apkārtnē ir *maijā vai jūnijā*, bet *minimums - novembrī, decembrī, janvārī*.

4.2. Aerosoli.

Līdzīgi, kā ar nokrišņu ikmēnešu radioaktivitāti, ir novērojama aerosolu ikmēnešu radioaktivitātes sakarība. Kā redzams 15., 16. un 17.zīm. aerosolu ikmēneša radioaktivitātes maksimāls Salaspilī ir novērojams martā - maijā, bet minimums - novembrī. Korelācija nokrišņu un aerosolu ikmēnešu radioaktivitātes starpā ir samērā liela. t.i. korelācija koeficients ir 0.35.

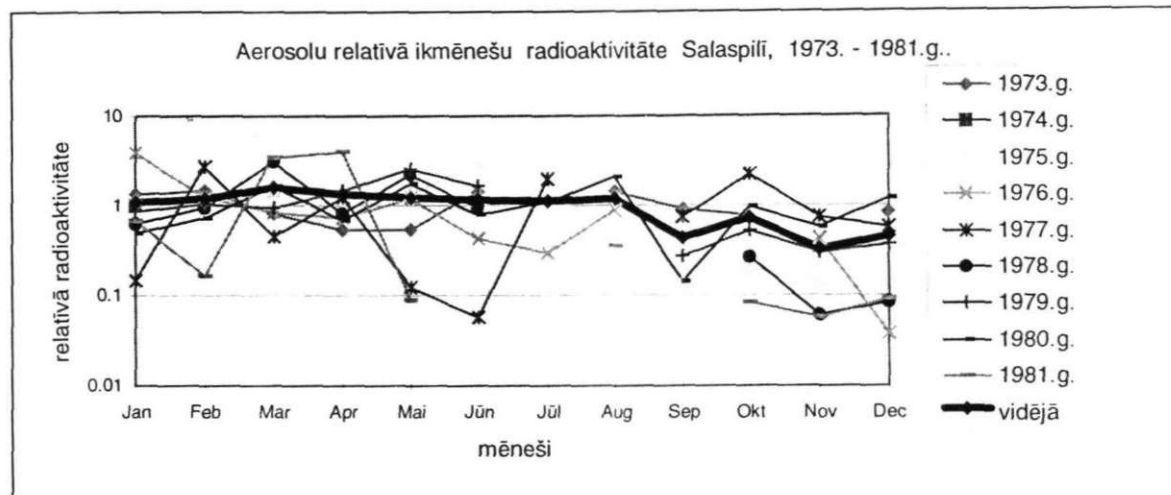


15.zīm. Nokrišņu un aerosolu mēneša vidējā relatīvā radioaktivitāte Salaspilī visā monitoringa periodā no 1968.g. līdz 1995.g..

Jāuzsver, ka šajā monitoringā veiktā aerosolu radioaktivitātes mērījumu statistiskā drošība ir daudz zemāka kā nokrišņu radioaktivitātes mērījumu statistiskā drošība, jo nokrišņi tika vienlaicīgi kontrolēti desmit kontrolpunktos ar mēneša ekspozīciju un praktiski nepārtraukti. Turpretī aerosolu kontrole visu monitoringa laiku notika vienā vietā ar ekspozīciju dažas dienas un protams ar pārtraukumiem. Tādēļ atsevišķu gadu (it sevišķi pēdējo gadu, kad radioaktivitātes līmenis ir zems) aerosolu dati var būt ar lielu izkliedi un statistiski pietiekami droši ir *periodu* ikmēnešu vidējie dati (skat. 16. un 17. zīm.).

16. un 17. zīm. attēlotas aerosolu vidējā ikmēnešu relatīvā radioaktivitāte Salaspilī vairākos periodos un arī atsevišķos gados.

Ir interesanti salīdzināt ikmēnešu aerosolu aktivitāšu datus (gan atsevišķu gadu, gan periodu vidējos), kas mērīti Salaspilī, ar to pašu gadu (vai to pašu periodu) tādiem pašiem datiem, kuri mērīti kontrolpunktos tālu no Salaspils.



16.zīm. Aerosolu relatīvā ikmēnešu radioaktivitāte Salaspilī 1973.g. -1981.g.[13-19]



17.zīm. Aerosolu ikmēnešu relatīvo radioaktivitāšu vidējās vērtības trīs periodos.

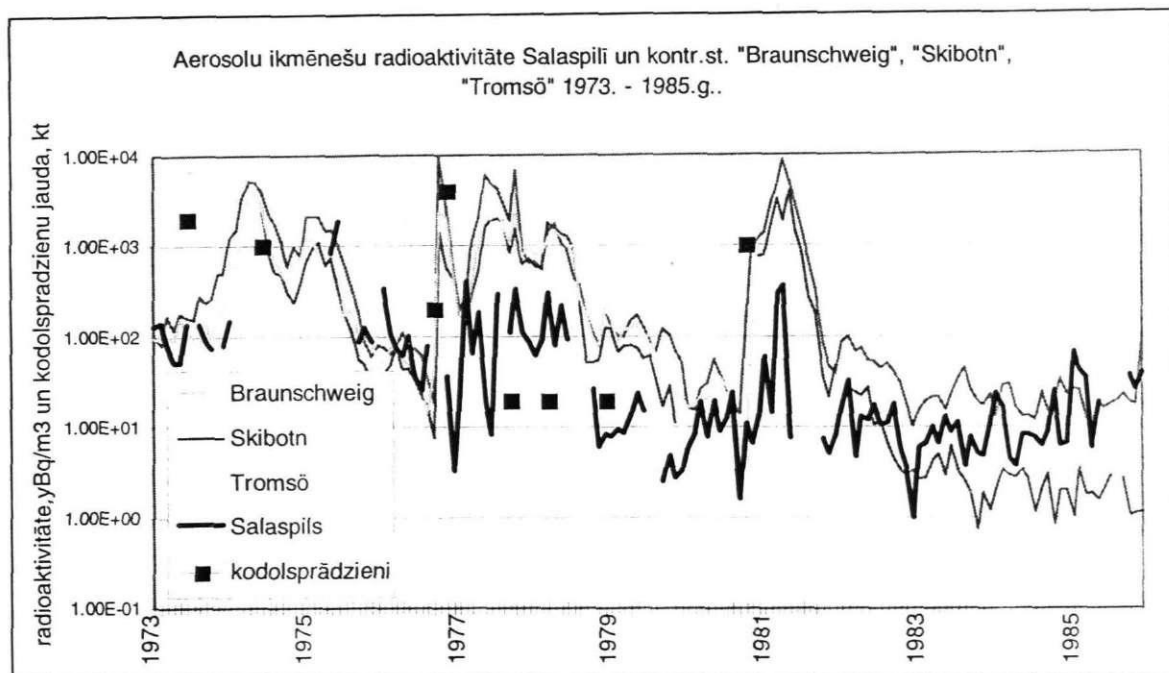
Tāda salīdzināšana ir veikta, izmantojot publikāciju [40], kur ir publicēti ikmēnešu dati par atsevišķu radionuklīdu daudzumu gaisā no 1963.g. līdz 1990.g. Vācijas Fizikāli tehniskā federālā institūta kontroles stacijās (skat. 7.tab.), kuras izvietotas Vācijā un Norvēģijas ziemeļos un [40] publikāciju, kur ir 1963.-1965.g. dati par radionuklīdu koncentrāciju Taškentā [41].

7.tab. Vācijas fizikāli tehniskā federālā institūta gaisa kontroles staciju novietojums [40].

Gaisa kontroles stacija	Stacijas koordinātes	Kontroles laiks
Braunschweig	52°18' N, 10°28'E	1963. - 1990.
Tromsø (Norvēģijā)	69°39'N, 18°57'E	1970. - 1980.
Skibotn (Norvēģijā)	69°21'N, 20°20'E	1974. - 1990.
Berlīn	52°25'N, 13°08'E	1983. - 1990.
Vardø (Norvēģijā)	70°21'N, 31°02'E	1988. - 1990.

No [40] publikācijas materiāliem, izslēdzot datus par tādiem radionuklīdiem, kuri Salaspilī netika kontrolēti (īsi dzīvojošie, ar mazu E_{β} , radionuklīdi ar EC), ir veikta datu apstrāde un ikmēnešu un ikgadējo datu summēšana, lai veiktu to korelācijas pārbaudi ar attiecīgiem Salaspils datiem. 18.zīm. attēlota aerosolu ikmēnešu radioaktivitātes "gaita" Vācijā, Norvēģijā un Latvijā (Salaspilī) laikā no 1973.g. līdz 1985.g., uzrādot arī kodolieroču izmēģinājumus atmosfērā. Te redzams, ka vispārējā aerosolu ikmēnešu radioaktivitātes gaita pa mēnešiem un gadiem Salaspilī ir līdzīga ar

kontr. st. "Braunschweig", "Skibotn" un "Tromsø" novēroto radioaktivitātes gaitu. Tādēļ tika veikta detalizēta korelācijas pārbaude starp ikmēnešu datiem, kas iegūti Salaspilī [13-23] un attiecīgi iepriekš minētajās vācu gaisa kontroles stacijās [40]. Iegūtie korelācijas koeficienti par aerosolu radioaktivitātes ikmēnešu datiem no 1973.g. līdz 1985. gadam ievietoti 8.tabulā.



18. zīm. Aerosolu ikmēnešu β -radioaktivitāte no 1973.g. līdz 1985.g. Salaspilī un gaisa kontroles stacijās "Braunschweig", "Skibotn" un "Tromsø" [40]. Uzrādīta arī kodolieroču izmēģinājumu atmosfērā laiks (mēnesis) un jauda, kt [40].

8.tab. Korelācijas koeficienti starp attiecīgo gadu ikmēnešu aerosolu radioaktivitāti Salaspilī un kontrolstacijās "Braunschweig", "Tromsø" un "Skibotn".

kontr. st. / gadi	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.	1985.
"Braunschweig"	-0.20		0.48	-0.24	0.08	0.67	0.78	-0.06	0.81	0.76	-0.18	-0.19	0.27
"Tromsø"	-0.39		0.30	-0.24	0.10	0.71	0.64	-0.17					
"Skibotn"				-0.34	-0.14	0.82	0.47		0.43	0.46	0.24	-0.36	-0.26
kodolsprādzieni atmosf. (Mt)	2	1		4	0.02	0.04		1					

Četros gados (1973., 1974., 1976. un 1980.g.) no 13 gadiem, kuru dati ir 8.tabulā, ir izdarīti kodolsprādzieni ar jaudu no 1 līdz 4 Mt un divos gados - ar jaudu 20 kt un 40 kt.

8.tabulā atrodam sekojošo:

- 5 gados (1975., 1978., 1979., 1981., 1982.g.) ir augsta korelācija starp Salaspilī mērītiem datiem un tiem datiem, kuri iegūti divās vai trīs vācu stacijās (kor.k. = 0.3 - 0.82), piem. 1979.g., (skat. 19. zīm.),

- 2 gados (1983. un 1985.g.) ir vērā ņemama korelācija ar vienas, bet nav ar citas vācu stacijas datiem un tas ir gados, kad aerosolu radioaktivitāte ir ievērojami zemāka kā iepriekšējā gadu desmitā,

- nav korelācijas (k.k.<0) ne ar vienas vācu stacijas datiem 4 gados un 3 gados no tiem (1973., 1976. un 1980.g.) ir izdarīti lieljaudas kodolsprādzieni atmosfērā (piem. 1980.g., skatīt 20.zīm.),

- praktiski nav korelācijas ne ar vienu vācu staciju vienā gadā no 12 (1977.), kad izdarīts mazas jaudas (20 kt) kodolsprādziens atmosfērā.

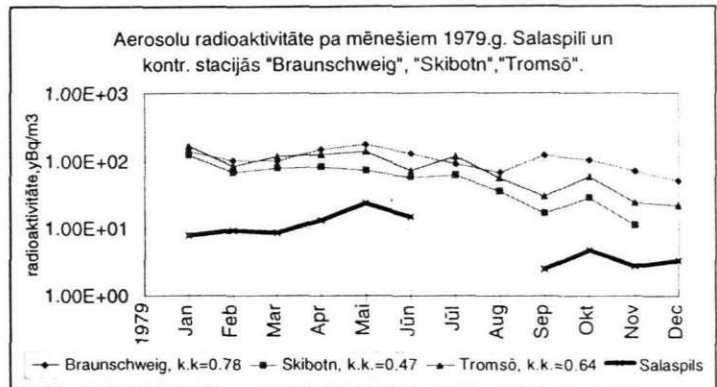
Iepriekš minēto var izskaidrot sekojoši:

- korelāciju starp radionuklīdu koncentrācijas datiem troposfēras piezemes slāņos, kuri mērīti attālās (≈ 1000 km) gaisa kontrolstacijās noteiktos momentos (vai periodos), atsevišķos gados izjauc pēdējā kodolsprādziena efekta (sprādziena produktu - radionuklīdu koncentrācijas atmosfērā) "aizkavēšanās" tajā vai citā kontroles vietā; analizējot un salīdzinot, piem. 1979.g. un 1980.g. datus (skat. 19. un 20. zīm.) redzam, ka -

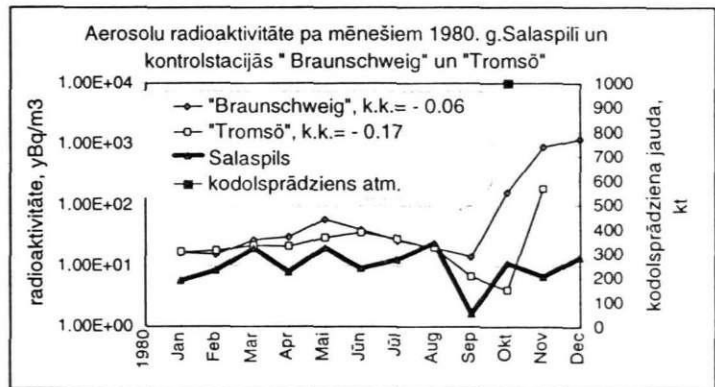
- 1979.g. ir augsta korelācija starp Salaspils datiem un vācu kontr. staciju datiem un, ka kodolsprādzienu tajā gadā nebija;

- 1980.g. nav korelācijas starp iepriekš minētiem datiem un, ka atšķirība aerosolu radioaktivitātes gada gaitā kļūst redzamāka pēc ≈ 1 Mt kodolsprādziena atmosfērā [40], kas izdarīts tā gada 16. oktobrī.

19.zīm. Aerosolu radioaktivitāte 1979.g. Salaspilī un kontr. st. "Braunschweig", "Skibotn" un "Tromsø".



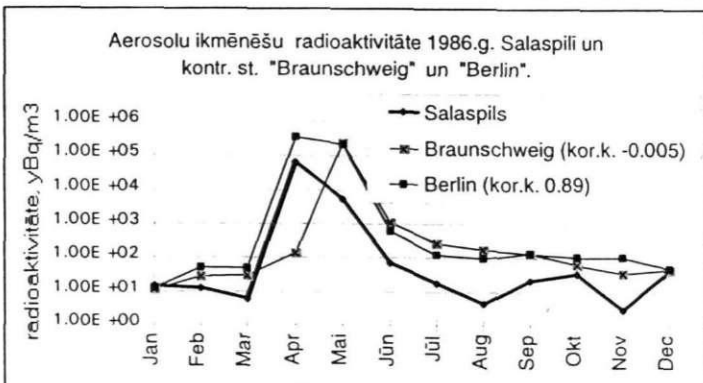
20.zīm. Aerosolu radioaktivitāte 1980.g. Salaspilī [18] un gaisa kontroles stacijās "Braunschweig" un "Tromsø" [40].



Līdzīgs piemērs ir 1986.gada aerosolu radioaktivitātes datu

gada "gaita" (skat. 21.zīm.), kur Salaspils datiem ir augsta korelācija ar kontr.st."Berlin" datiem (k.k.=0.89), bet nav korelācijas ar kont.st."Braunschweig" datiem (k.k.=0.005) un tas galvenokārt tādēļ, ka aerosolu radioaktivitātes maksimums no Černobilas kodolkatastrofas vietas kontr.stacijā

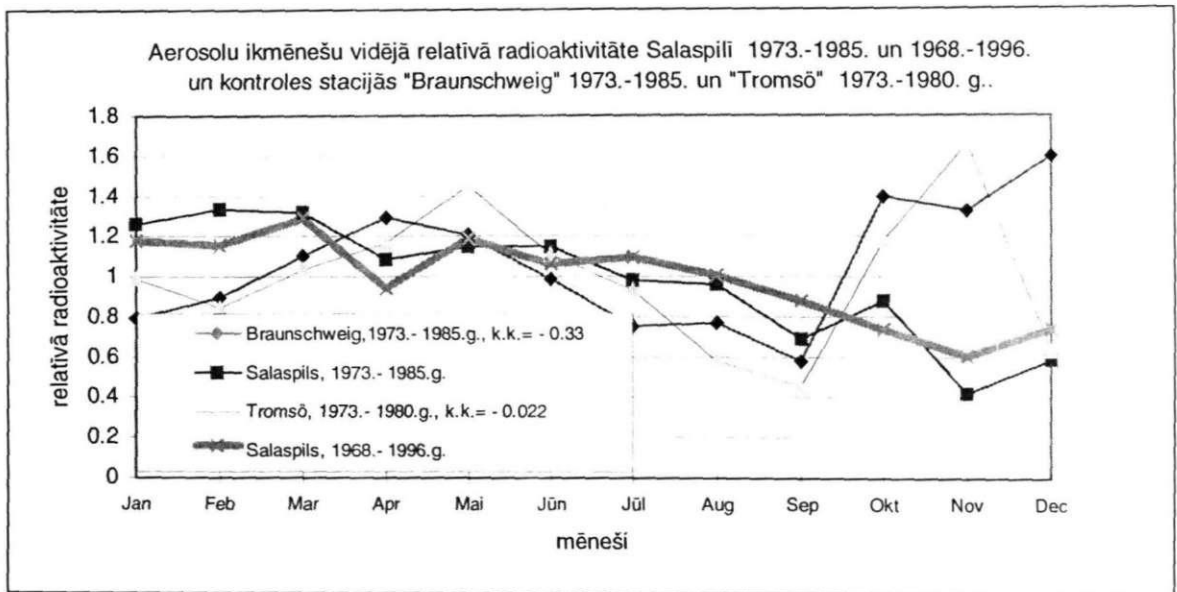
"Braunschweig" nonāca citā mēnesī (maijā).



21.zīm. Aerosolu radioaktivitāte Salaspilī [24] un kontr. st. "Braunschweig" un "Berlin" 1986.gadā [40].

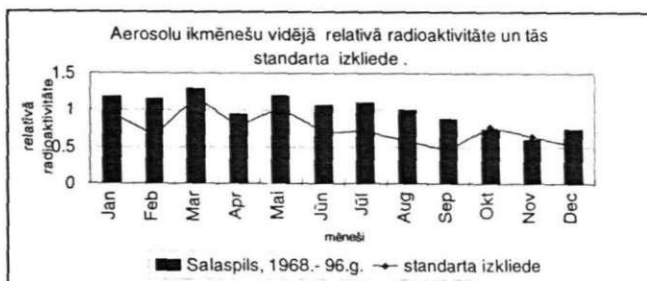
Korelācija var neparādīties arī tad, kad aerosolu radioaktivitātes līmenis ir zems un tādēļ rezultātu izkliede ievērojami liela (skat. 23.,24.zīm.).

Pārbaudot korelāciju starp *perioda vidējiem* ikmēnešu datiem, kas mēriti ilgākā periodā, piem. 13 gadu periodā no 1973.g. līdz 1985.g., tad atklājas ka Salaspils datiem nepastāv korelācija ne ar kontr.st. "Braunschweig" datiem ne ar kontr. st. "Tromsø" datiem (sk. 22.zīm.). Tas vedina uz domām, ka katrai ģeogrāfiskai vietai var būt savs *perioda vidējais* aerosolu radioaktivitātes ikmēnešu gada "gaitas" raksturs. Kā redzams no 22.zīm. īpaši atšķiras Salaspils un vācu stacijās novērotās oktobra un novembra mēnešu vidējās relatīvās aerosolu radioaktivitātes vērtības.

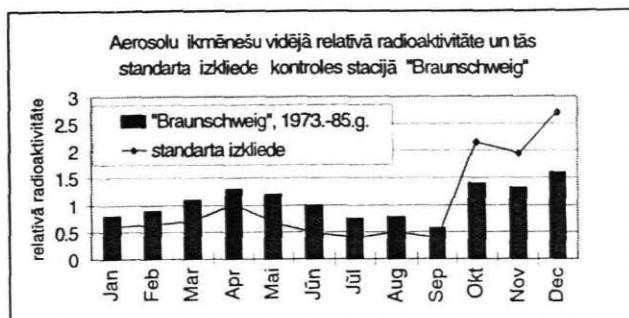


22.zīm. Aerosolu ikmēnešu vidējā relatīvā radioaktivitāte periodā no 1973.g. līdz 1985.g. Salaspilī un gaisa kontr. stac. "Braunschweig" un "Tromsø";
korel. koef. = - 0.33 Salaspils -- "Braunschweig",
korel. koef. = - 0.022 Salaspils -- "Tromsø".

Interesanti ir noskaidrot, kādā mērā atsevišķu gadu ikmēnešu relatīvās radioaktivitātes "gaita" korelē ar ilgāka perioda vidējo datu "gaitu" tajā pašā kontroles stacijā. Izrādās, ka ne Salaspilī (skat. 25.zīm., k.k.=0.22) ne arī kontr.stacijā "Braunschweig" (skat. 26. zīm.,k.k.=0.12) korelācija nav augsta, kas norāda, ka atsevišķu gadu datu "gaita" ne visai saktīt ar perioda vidējo "gaitu", t.i. ir samērā liela ikmēnešu datu izkliede pa gadiem (skat. 23.zīm. un 24.zīm.).

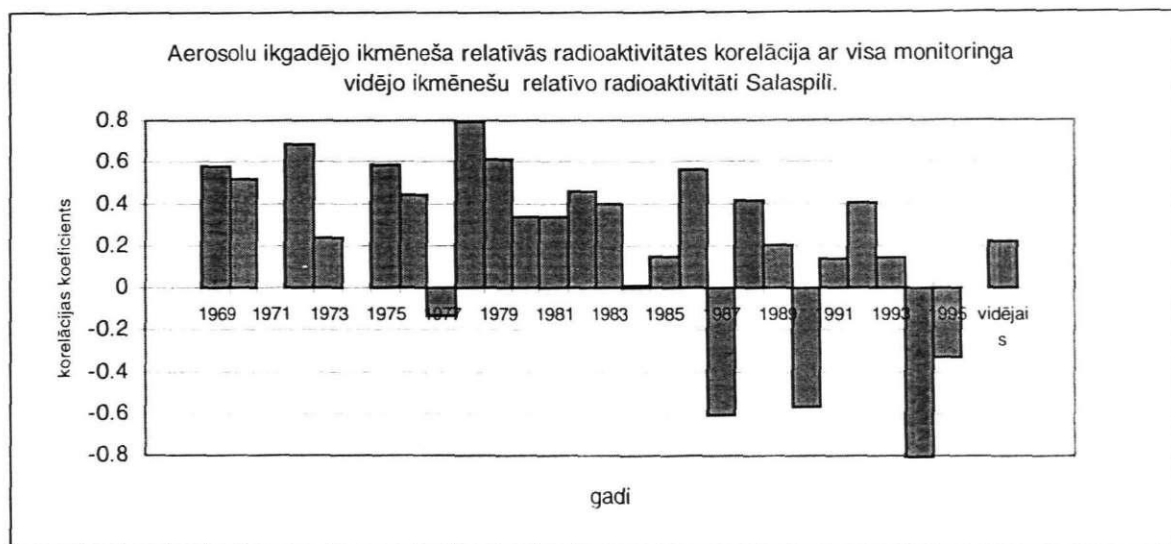


23.zīm. Aerosolu relatīvās radioaktivitātes Salaspilī ikmēnešu vidējās vērtības un tās standarta izkļedes visā monitoringa periodā 1968.g. -1996.g..

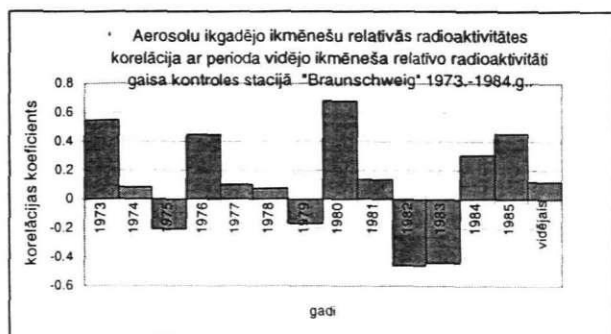


24.zīm. Aerosolu relatīvās radioaktivitātes Ikmēnešu vidējās vērtības un tās standarta izkliede kontroles stacijā "Braunschweig" 1973.g.-1985.g. [40].

Kada ir atsevišķo gadu datu korelācija ar attiecīgo "savu" perioda vidējo vērtību Salaspilī un kontr. st. "Braunschweig" rāda korelācijas pārbaūžu rezultāti attiecīgi 25.zīm. un 26.zīm.. Salaspilī laikā no 1969.g. līdz 1986.g. korelācija ir augsta (k.k.= 0.2- 0.8). Korelācija samazinās vai tās nav vispār sākot ar 1987.g., kad aerosolu ikgadējā radioaktivitāte ir samazinājusies līdz $10 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (skat 18. zīm. un 31.zīm.).



25.zīm. Aerosolu ikmēnešu relatīvās radioaktivitātes korelācija ar monitoringa perioda vidējiem ikmēneša datiem Salaspilī visā monitoringa periodā 1968.g.- 1996.g.[9-33].



26.zīm. Aerosolu ikmēnešu relatīvās radioaktivitātes korelācija ar monitoringa perioda vidējiem ikmēneša datiem kontroles stacijā "Braunschweig" periodā 1973.g. - 1984.g..

Gaisa kontroles stacijā "Braunschweig" (skat. 26.zīm.) aplūkotajā periodā gadi, kad ir augsta korelācija, regulāri mainās ar gadiem, kad korelācijas nav un rezultātā vidējais k.k. = 0.12.

Secinājumi.

1. Korelācija starp aerosolu un nokrišņu ikmēnešu radioaktivitāti vidēji ir pietiekami augsta (kor.k. = 0.35).
2. Aerosolu radioaktivitātes maksimumi Salaspilī ir novērojami no marta līdz maijam, bet minimums - novembrī.

3. Aerosolu vidējā ikmēnešu radioaktivitātes gada gaita Salaspilī ir atšķirīga no Vācijā un Norvēģijā novērotajām un tas norāda, ka katrai ģeogrāfiskai vietai tā var būt sava.

4. Ir gadi, kad ir augsta ikmēnešu aerosolu radioaktivitātes korelācija starp Salaspils un vācu kontroles staciju datiem, bet citos gados korelācija nav un visbiežāk tas ir gados, kad izdarīti lieljaudas kodolspārdzieni atmosfērā.

4.3. Radionuklīdu koncentrācijas pussamazināšanās periods troposfērā.

Ir aprēķināts radionuklīdu koncentrācijas troposfērā pussamazināšanās periods Salaspilij dažādiem gadiem un periodiem. Pussamazināšanās periods T tiek definēts sekojoši [41]:

$$T = 0.693 \frac{\Delta t}{\ln \frac{\rho_m}{\rho} \Delta t}$$

kur Δt ir mēnešu skaits pēc mēneša m , kad bija gada maksimālā radionuklīdu koncentrācija troposfēras piezemes slāņos ρ_m , līdz mēnesim t , kad ir novērota attiecīgā mēneša vidējā aerosolu radioaktivitāte $\rho_{\Delta t}$.

(skat. 15., 17. un 22.zīm.).

Izmantojot aerosolu ikmēnešu radioaktivitātes datus Salaspilī T_{trop} tika aprēķināts diviem periodiem: 1968.-1996.g. periodam tas ir 330 dienas un periodam 1973.-1985.g. -- arī 330 dienas (± 130 d). Taškentai, Vācijai un Budapeštai 1963.g. un 1964.g. T_{trop} dati ir 9.tab.

9.tab. Kodoldalīšanās radionuklīdu pussamazināšanās periods troposfērā [41,42].

vieta	1963	1964
Taškenta	53 d.	52 d.
Vācija	69 d.	60 d.
Budapešta	72 d.	60 d.

Analoģiski ir aprēķināti pusattīrīšanās periodi Salaspilij, izmantojot nokrišņu radioaktivitātes datus (10.tab.).

Aprēķinātais radionuklīdu koncentrācijas troposfērā pussamazināšanās periods (45-100 dienas), izmantojot nokrišņu radioaktivitātes datus Salaspilī laika periodam līdz 1985.g., izklīdes robežās sakrīt ar 9.tab. uzrādītajiem.

Pēdējā desmitgadē, t.i. periodā, kad vairs nenotiek kodolizmēģinājumi atmosfērā un radionuklīdu koncentrācija samazinājās 100 - 10 reizes, nokrišņu dati Salaspilī dod 3 līdz 4 reizes garāku pussamazināšanās periodu.

10.tab. Radionuklīdu pussamazināšanās periods troposfērā Salaspilī, aprēķināts no nokrišņu radioaktivitātes vidējiem (attiecīgā perioda vai gada) ikmēnešu datiem.

Periods / gads	$T_{1/2}$ (dienas)
1966.-1975.	45±5
1966.-1995.	84±12
1970.	45±24
1975.-1995.	59±21
1976.-1985.	109±36
1987.-1995.	255±165
1990.	197±180

Secinājums.

Aprēķinātais radionuklīdu koncentrācijas troposfērā pussamazināšanās periods (45-100 dienas), izmantojot nokrišņu radioaktivitātes datus Salaspilī laika periodam no 1966.g. līdz 1985.g., izklīdes robežās sakrīt ar [41,42] publikācijās sniegtiem 1963. un 1964.g. datiem Vācijā, Budapeštā un Taškentā.

Secinājums.

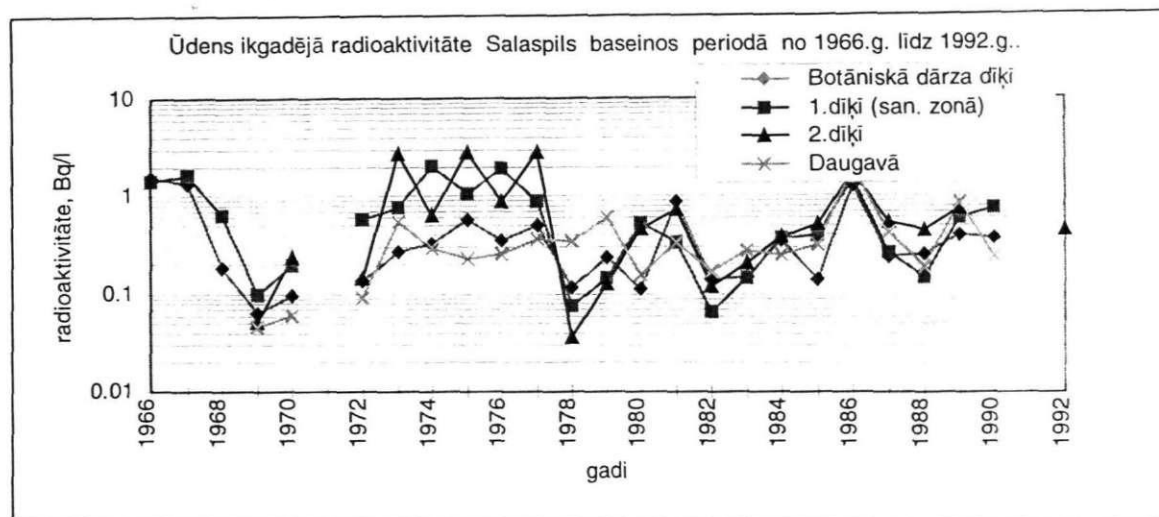
Radionuklīdu koncentrācijai piezemes troposfēras slāņos ir sezonas raksturs un Salaspilī to koncentrācijai maksimums ir martā - maijā un minimums ir novembrī - janvārī. Ar pietiekami lielu datu daudzumu un korelācijas metodes palīdzību ir pierādīts radionuklīdu ikmēnešu koncentrācijas gada gaitas statistiski stabils raksturs, parādīta tās savdabība konkrētai ģeogrāfiskai vietai un kopīgās pazīmes attālām ģeogrāfiskām vietām.

5. Vides ikgadējo radioaktivitāšu sakarības.

Iepriekš tika analizētas vides objektu radioaktivitātes ikgadējās ikmēnešu datu sakarības, kuras līdzīgā veidā vairāk vai mazāk atkārtojas katru gadu un rezultātā var uzrādīt statistisku likumsakarību ar vides ikmēnešu vidējām radioaktivitātes vērtībām.

Tālāk tiks parādīts, ka pastāv arī korelācija starp dažādu vides elementu radioaktivitātes ikgadējām vidējām vērtībām.

5.1. Ūdens radioaktivitāte.



27. zīm. Ūdens vidējā gada radioaktivitāte Salaspils dažādos ūdens baseinos periodā no 1966.g. līdz 1992.g. [9-30].

27. zīm. ir parādīta ūdens ikgadējā radioaktivitāte Salaspils dažādos ūdens baseinos periodā no 1966.g. līdz 1992.g.. Kā redzams ūdens absolūtā radioaktivitāte visu monitoringa periodu bija un ir palikusi zema. Tā ir bijusi relatīvi zema arī septiņdesmitajos gados, kad kodollielvalstis veica daudzus lielaudas kodolsprādzienus atmosfērā, kā arī 1981.gadā, kad 1980.g. 16.oktobrī izdarīja pēdējo ≈ 1 Mt kodolsprādzienu. 1981. un 1986.gadā (Černobilas kodolkatastrofas g.) ir sinhrons radioaktivitātes līmeņa pacēlums visos kontrolētajos baseinos, bet no 1972.gada līdz 1977.gadam vērojams ilgstošāks ūdens radioaktivitātes līmeņa pacēlums šajos baseinos. Pēdējo var izskaidrot ar iespaidu, ko izraisīja 10 lielaudas kodolsprādzieni atmosfērā laikā no 1966.g. līdz 1976. gadam.

11.tab. Korelācija starp ūdens objektu radioaktivitātes ikgadējām vērtībām Salaspilī.

1.objekts	2.objekts	Korel. koef.	Periods
Salaspils apkārtnē	KR sanit. zona	0.63	1966. - 1992.
Daugava	Botāniskā d.dīķis	0.76	1969. - 1990.
1.dīķis (sanit.zonā)	2.dīķis	0.45	1969. - 1992.
Salaspils apkārtnē	FI ūdens vads	0.78	1972. - 1987.

Promocijas darba ietvaros noteiktie korelācijas koeficienti starp dažādiem Salaspils ūdens baseinu ikgadējām radioaktivitātes vērtībām ir 11.tabulā. Kā redzams, tie ir augsti (0.4-0.8) un tas nozīmē, ka ir kāds kopīgs globāls radionuklīdu avots, kas rada kaut nelielas, bet sinhronas (gada laikā) ūdens ikgadējās radioaktivitātes izmaiņas visos kontrolētajos ūdens baseinos (skat. 7.zīm). Tāds plašs avots var būt vienīgi atmosfēra.

Secinājums.

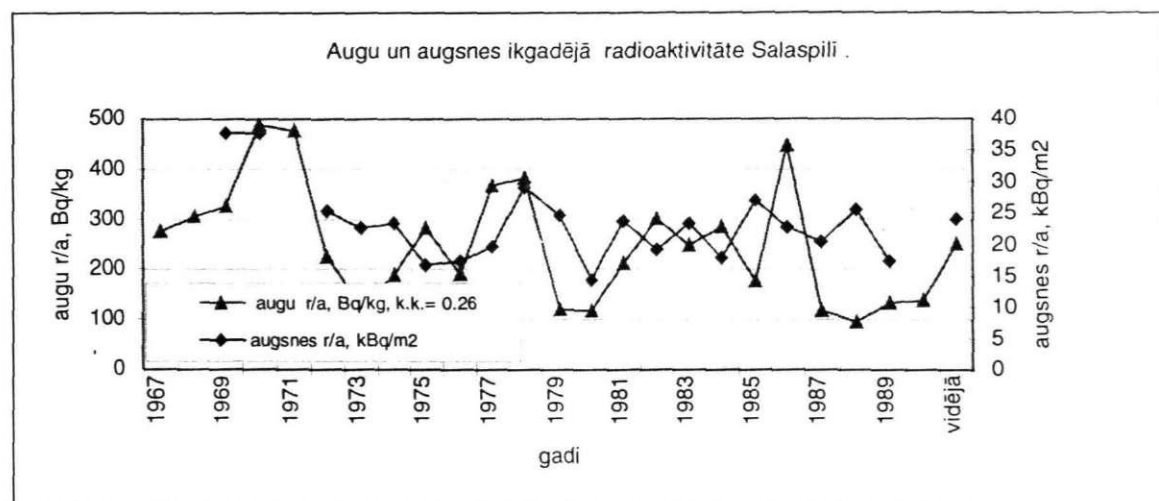
1. Ūdens absolūtā radioaktivitāte Salaspils apkārtņē visu monitoringa periodu bija un ir palikusi zema.
2. Ir novērotas sinhronas ūdens ikgadējās radioaktivitātes izmaiņas visos kontrolētajos ūdens baseinos.

5.2. Augsnes un augu radioaktivitāte.

Korelē arī augu ikgadējās radioaktivitātes dati, kuru paraugi regulāri ņemti ik gadus vienās un tajās pašās kontroles vietās patālu viens no otra. Tā, piemēram, korelācijas koeficients starp augu radioaktivitātes ikgadējiem datiem, kuru paraugi ņemti sanitārajā zonā un tās apkārtņē, ir augsts - 0.76 (skat. 12.tab. un 29. zīm.), bet sanitārajā zonā starp "tuvo" un "tālo" augu paraugu datiem korelācijas koeficients arī ir samērā augsts - 0.48. Augsta korelācija ir arī starp augsnes paraugu ikgadējiem radioaktivitātes datiem sanitārajā zonā un apkārtņē (skat. 12.tab.), bet korelācija starp augsnes un augu radioaktivitātes ikgadējiem datiem ir mazāk izteikta (skat. 28.zīm.) un korelācijas koeficients ir 0.26.

12. tab. Augsnes un augu ikgadējo radioaktivitāšu korelācijas koeficienti.

1.objekts	2.objekts	Korel. koef.	kontr. periods
augi sanit. zonā	augi apkārtņē	0.76	1967. - 1990.g.
"tālie" augi. sanit.z.	"tuvie" augi san.zonā	0.84	1967. - 1990.g.
augsne sanit. zonā	augsne apkārtņē	0.75	1967. - 1990.g.
"tālā" augsne san. z.	"tuvā" augsne san.zonā	0.92	1967. - 1990.g.

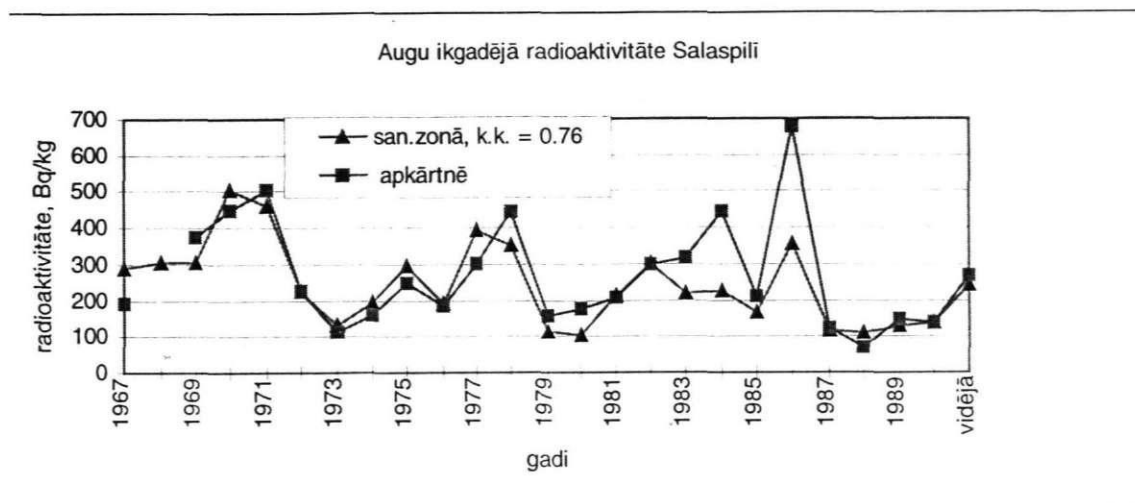


28. zīm. Augu un augsnes vidējā ikgadējā radioaktivitāte Salaspilī periodā no 1967.g. līdz 1989.g. [9-27].

Tas parāda, ka radionuklīdu uzkrāšanās un izvades dinamikas parametri augiem un augsnei ir atšķirīgi. No augu un augsnes ikgadējās radioaktivitātes datiem (skat.28.zīm.) izriet, ka radioaktivitātes līmeņa pieauguma tendence nav novērojama, bet ir skaidri izteikta augu ikgadējās radioaktivitātes samērā lielās svārstības ap tās vidējo lielumu.

Secinājums.

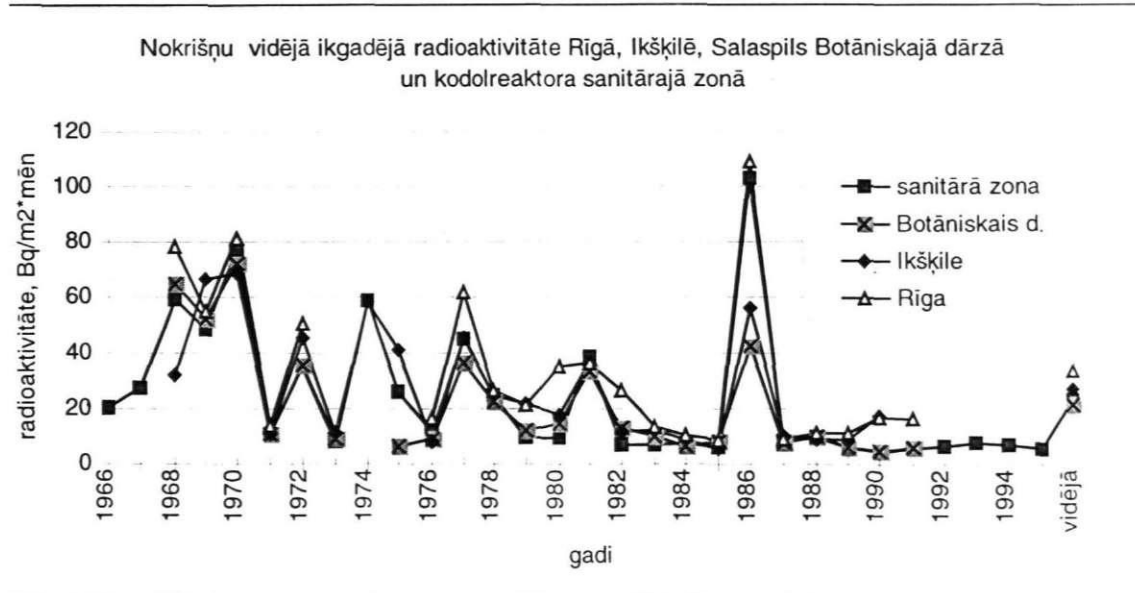
1. Augu un augsnes radioaktivitātes līmeņa pieauguma tendence nav novērojama.
2. Ir skaidri izteiktas augu ikgadējās radioaktivitātes "sinhronās" un relatīvi lielās svārstības.



29.zīm. Augu ikgadējā vidējā radioaktivitāte reaktora sanitārajā zonā un apkārtējos kontrolpunktos (Salaspils Botāniskajā dārzā, Rīgā un Ikšķilē) [9-28].

5.3. Nokrišņu un aerosolu radioaktivitāte.

Nokrišņu ikgadējā vidējā radioaktivitāte Rīgā, Ikšķilē, Salaspils Botāniskajā darzā un alaspils kodolreaktora sanitārajā zonā periodā no 1966.g. līdz 1995.g. ir parādīta 30.zīm..



30.zīm. Nokrišņu gada vidējā radioaktivitāte Rīgā, Ikšķilē, Salaspils Botāniskajā darzā un Salaspils kodolreaktora sanitārajā zonā [9-33]

Ār redzams no 30.zīm. nokrišņu radioaktivitātes gada vidējie dati ļoti sinhroni (jo korelācijas koeficients ir 0.8 - 0.9, skat. 4.tab.) no gada uz gadu mainās visās četrās nokrišņu kontroles ietās, kuras izvietotas cita no citas attālumā no 2 līdz 30 km. Šādai sinhronai sakarībai gan tarp nokrišņu gan aerosolu radioaktivitāšu datiem ir ne tikai reģionāls raksturs, bet, kā izriet no audziem šajā promocijas darbā minētajiem rezultātiem, tam ir globāls raksturs (skat. 8. zīm. un 1. zīm.). Kā rāda vācu gaisa kontroles stacijās mērīto aerosolu vidējā ikmēnešu radioaktivitātes

datu [40] analīze, korelācija starp datiem, kuri iegūti attālināti izvietotās stacijās, ir ar savstarpējās korelācijas koeficientiem - no 0.53 līdz 0.96, tātad korelācija ir ļoti augsta.

Jebkura lieluma reģionā, ja tajā vai tā tuvumā nav lokāls vides radioaktivitātes piesārņošanas avots, par vienīgo (vai galveno) piesārņošanas avotu jāuzskata atmosfēra. Zemes atmosfēras dažādi slāņi piedalās radionuklīdu izplatīšanā pa visu pasauli. Radionuklīdi no atmosfēras uz zemes izkrīt kopā ar nokrišņiem (lietus pilieniem, sniegu, krusu un tml.) vai aerosolu veidā. Nokrišņi un aerosoli ir galvenie radionuklīdu pienesēji attiecīgai vietai. Tālākais radionuklīdu migrācijas ceļš un veids ir atkarīgs no ļoti daudziem fizikāliem un ķīmiskiem radionuklīda un vides parametriem.

13.tabulas dati uzrāda augstu korelāciju starp nokrišņu un aerosolu radioaktivitātes ikgadējiem datiem (k.k.= 0.75), kas arī viegli saprotams.

Secinājumi.

1. Nokrišņu radioaktivitātes gada vidējie dati ļoti "sinhroni" (korelācijas koeficients ir 0.8 - 0.9) no gada uz gadu mainās visās četrās nokrišņu kontroles vietās, kuras izvietotas cita no citas attālumā no 2 līdz 30 km.
2. Ir augsta korelācija starp nokrišņu un aerosolu radioaktivitātes ikgadējiem datiem (k.k.= 0.75).

5.4. Vides elementu radioaktivitātes savstarpējā korelācija.

Promocijas darba ietvaros veikta visu monitoringā mērīto vides elementu radioaktivitātes ikgadējo datu savstarpējās korelācijas koeficientu noteikšana visam monitorngā periodam. Aprēķinātie korelācijas koeficienti apkopoti 13. tabulā. Te redzam, ka augsta korelācija ir starp augu - nokrišņu (0.73) un augu - aerosolu (0.59) radioaktivitātes datiem. Tātad augus radionuklīdi no atmosfēras nonāk samērā ātri un "sinhroni" (gadu mērogā).

13.tab. Visu monitoringā mērīto vides elementu radioaktivitātes ikgadējo datu savstarpējās korelācijas koeficienti.

vides elem.	nokrišņi	aerosoli	ūdens	augi	augsnē
nokrišņi		0.7485	0.3155	0.72594	0.0857
aerosoli	0.7485		0.3251	0.5869	0.1133
ūdens	0.3155	0.3251		0.0458	-0.37
augi	0.72594	0.5869	0.0458		0.2562
augsnē	0.0857	0.1133	-0.37	0.2562	

Savukārt augsnes datiem ir vāja korelācija (vai tās nav) ar nokrišņu (k.k.= 0.086) un aerosolu (k.k. = 0.11) radioaktivitātes ikgadējiem datiem, kas arī saprotams, ja zinām, ka augsne ir inerciāls milzīgs radionuklīdu (gan dabisko, gan mākslīgo) rezervuārs, kura vidējo summāro radioaktivitāti izmainīt nevar ātri ar samērā nelielu nokrišņu radioaktivitātes daudzumu.

Augsnes radioaktivitātes datiem ir vērā ņemama korelācija (k.k. = 0.26) ar augu datiem, kas arī izskaidrojams kaut vai ar augu un augsnes fizisko kontaktu.

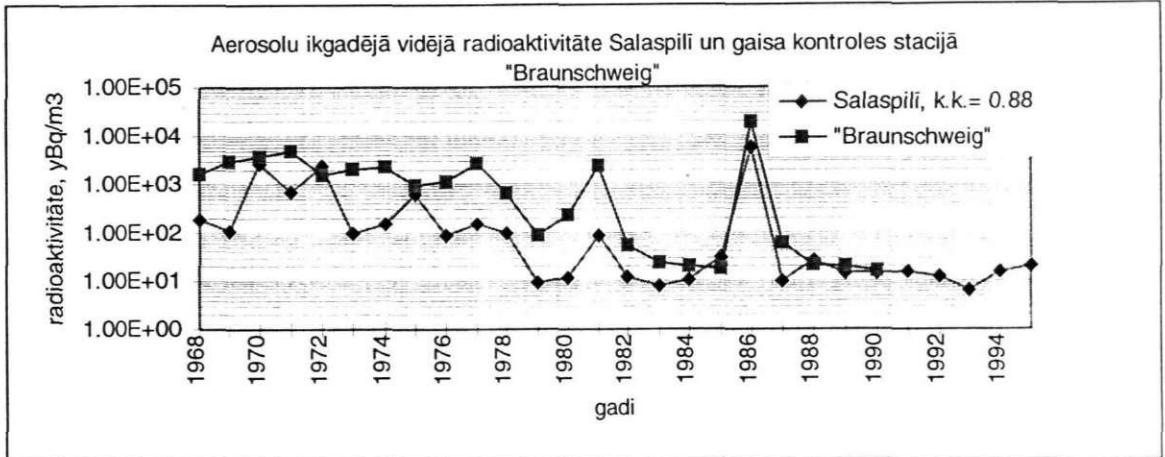
Upju un dīķu ūdens datiem arī ir vērā ņemama korelācija ar nokrišņu datiem (k.k. = 0.31) un aerosolu datiem (k.k. = 0.33), bet nav korelācijas ar augu un augsnes datiem.

Secinājums.

Ir augsta korelācija starp nokrišņu, aerosolu un augu ikgadējās radioaktivitātes datiem, ar ūdens datiem korelācija ir zemāka, bet ar augsnes datiem praktiski korelācijas nav.

5.5. Vides radioaktivitāte un kodolsprādzieni.

Kas un kā iespaido atmosfēras t.i. nokrišņu un aerosolu ikgadējo radioaktivitātes līmeni un izraisa šī līmeņa svārstības? Dati, kuri atrodami 18., 31. un 32.zīm. diezgan uzskatāmi parāda, ka atmosfēras (aerosolu un nokrišņu) ikgadējā radioaktivitātes līmeņa maiņas ir saistībā ar kodolsprādzieniem atmosfērā.



31.zim. Aerosolu vidējā gada radioaktivitāte Salaspilī [9-33] un vācu gaisa kontroles stacijā "Braunschweig" [40].

14.tab. Korelācijas koeficienti starp ikgadējiem vides radioaktivitātes datiem un kodolsprādzieniem ikgadējiem datiem periodā no 1966.g. līdz 1981.g. (skat. 13.zīm.).

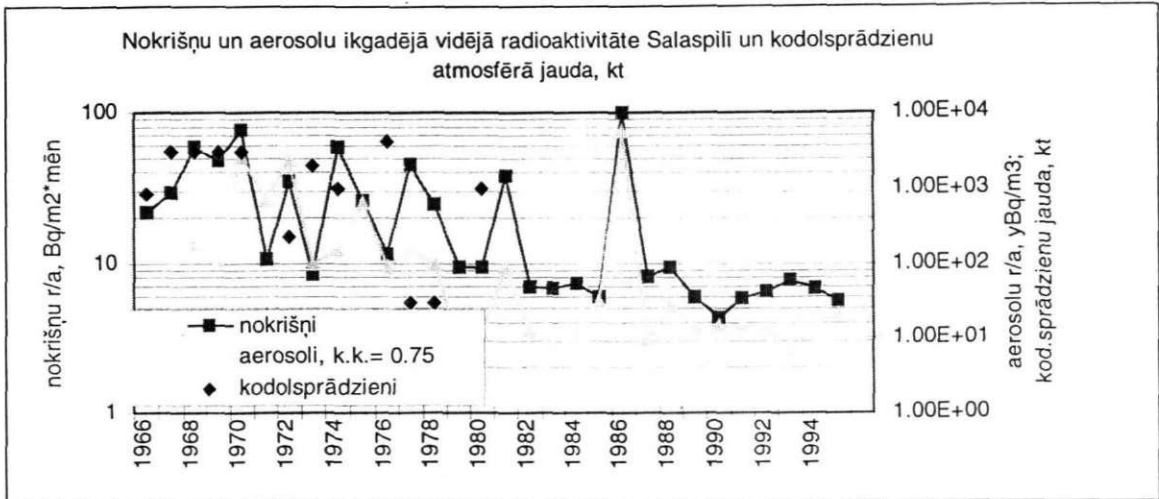
vides objekts	kor.koef. _{vidēj.}
Ūdens r/a Botāniskā d. dīki	-0.013271
Ūdens r/a 1.dīki (san. zonā)	0.192167
Ūdens r/a 2.dīki	-0.09271
ūdens Daugavā	-0.25068
ūdens FI un KR ūdensvadā	-0.161567
aerosoli Salaspilī	-0.029
aerosoli kontr.st. "Braunschweig"	-0.057

Te labi redzama izteikta sakritība aerosolu radioaktivitātes līmeņa paaugstināšanās 1977. gadā - gadu pēc 1976.gada 4Mt kodolsprādziena, 1981.gadā - gadu pēc 1980.gada 1Mt kodolsprādziena, gan vispārīgs atmosfēras radioaktivitātes līmeņa "plato" no 1966. g. līdz 1974. g., kad kodolsprādzieni notika katru gadu. Taču, izdarot formālu korelācijas pārbaudi (skat. 14.tab.), izrādās, ka tiešā veidā nav korelācijas starp kodolsprādzieniem (sprādziena gada un jaudas) no vienas puses un dažādās gaisa kontroles

stacijās novērotajiem ikgadējiem vidējiem radioaktivitātes līmeņiem (aerosolu vai (un) nokrišņu) no otras puses. Tas arī izskaidrojams un saprotams, ja ievērojam, ka kodolsprādziena galvenais ekoloģiskais efekts - radionuklidu mākonis, stratosfērā izplatoties pa visu pasauli, nonāk zemākajos troposfēras slāņos ar lielāku vai mazāku aizkavēšanos.

Secinājums.

Visā monitoringa periodā radioaktivitātes līmeni atmosfērā ir noteikuši kodolieroču izmēģinājumi atmosfērā.



32.zīm. Nokrišņu un aerosolu vidējā gada radioaktivitāte Salaspilī periodā 1966.g. - 1995.g.[9-33], parādīti arī kodolsprādzienu momenti un to jauda (kt)[40].

5.6. Daži γ -spektroskopijas, radioķīmisko un radiometrisko analīžu rezultāti.

No monitoringā veiktajiem mērījumu rezultātiem [9-34,36] var secināt:

- *nokrišņos* -

periodos (gados), kad radioaktivitātes līmenis bija augstāks kā vidējais

-- ^{90}Sr sastādīja 2- 4% no summārās radioaktivitātes,

-- ^{137}Cs sastādīja 1- 2%, bet lielāko daļu no radioaktivitātes sastādīja ^{144}Ce , ^{144}Pr un citi relatīvi īsi dzīvojoši kodoldalīšanās produkti (piem. ^{141}Ce , ^{131}Ba , ^{103}Ru , ^{95}Zr , ^{95}Nb),

periodos (gados), kad radioaktivitātes līmenis bija relatīvi zems

-- ^{90}Sr bija 10-20% no summārās radioaktivitātes

-- ^{137}Cs attiecīgi 10%;

aerosolos -

1969.gadā ar γ -spektrometriem tika novēroti [10]: - ^{141}Ce , ^{225}Ra , ^{227}Th , ^{212}Pb , ^{239}Np , ^{131}Ba , ^{103}Ru , ^{95}Zr , ^{95}Nb ,

1970. gadā - ^{144}Ce , ^{144}Pr [11],

periodā 1973. - 1975.g. tika konstatēti radionuklīdi ar $E_{\beta}=3\text{Mev}$ - 4.6Mev un

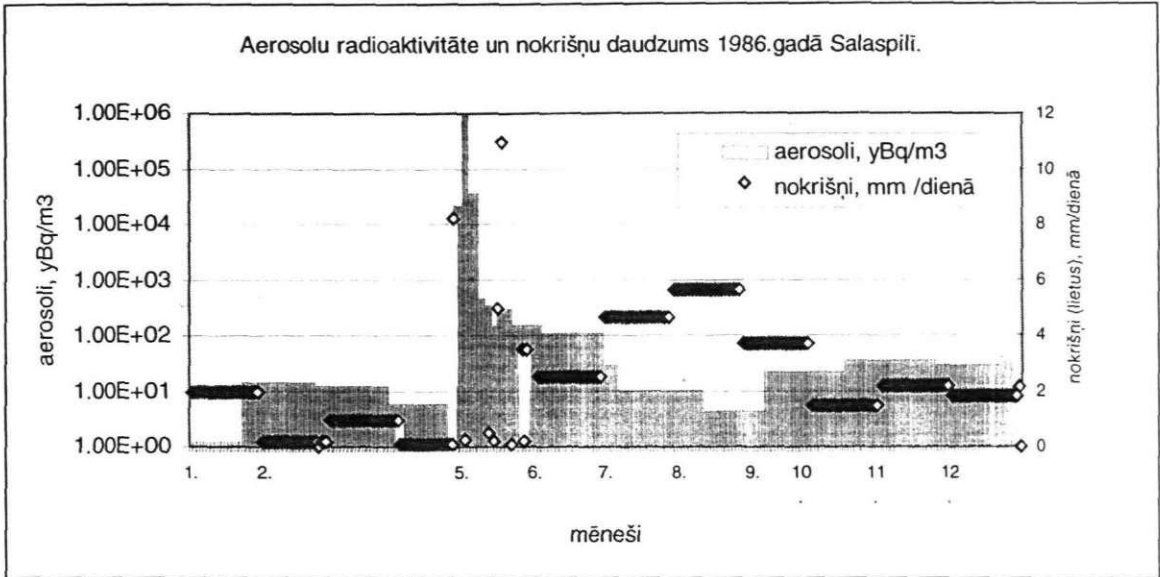
$T_{1/2}=308\text{ d}$ - 2.2 gadi, kas arī liecināja par urāna dalīšanās produktu klātbūtni[13].

Secinājums.

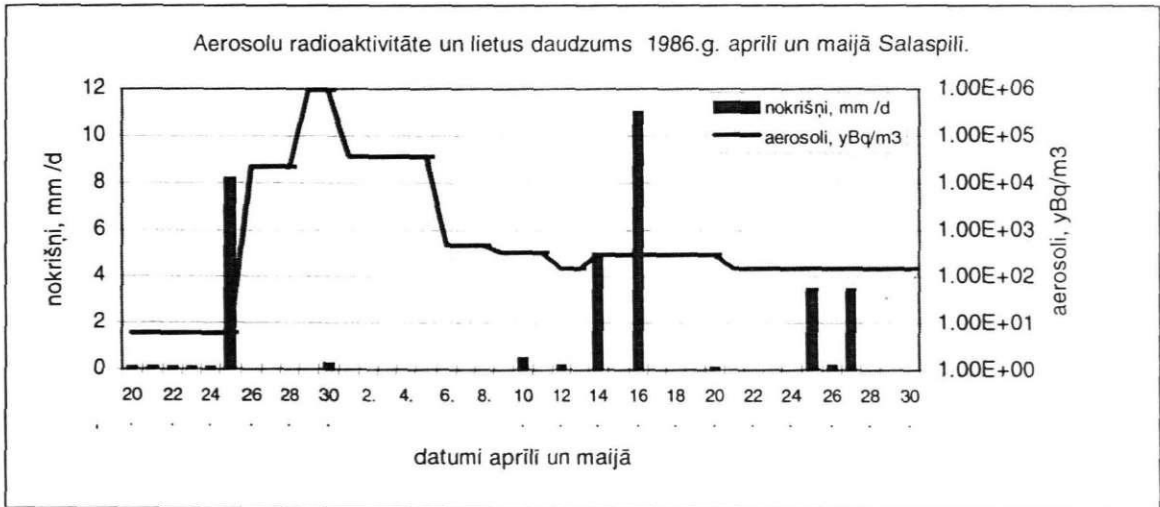
Monitoringa gados atmosfērā Salaspils apkārtne vienmēr ir bijusi novērojama "svaigāku" vai "vecāku" kodoldalīšanās produktu klātbūtne.

5.7. Černobilas kodolkatastrofas sekas Salaspils apkārtne.

Īpašs gads bija 1986.gads, kad Černobilas kodolkatastrofas laikā troposfērā izmestie radionuklīdi ar gaisa masām tika nesti pāri Eiropai un arī Latvijai. Ko tajā laikā varēja novērot atmosfērā Salaspilī, redzams 33. un 34.zīm.. *Pirmajā pielikumā* ir attēlots aerosolu veidā savākto radionuklīdu γ -spektrs Salaspilī gaisa radioaktivitātes "piķa" laikā [24](skat. 36.zīm.), , bet 15.tab. dota to pašu radionuklīdu īpatnējā radioaktivitāte gaisā. Te atrodami visi klasiskie "svaigie" un "vecie" urāna dalīšanās produkti.



33.zīm. Aerosolu summārās β -radioaktivitātes maiņas dinamika un lietus daudzums [mm/d] 1986.gadā Salaspilī [24].



34.zīm. Aerosolu summārās β -radioaktivitātes dinamika un nokrišņu (lietus) daudzums [mm/dienā] Salaspilī 1986.g. aprīlī un maijā [24]. {Lietus (8 mm) bija 25. aprīlī (dienu pirms katastrofas) un apm. 0.2 mm 30. aprīlī ("piķa" laikā).}

Lai gan 1986.gadā aerosolu summārā β -radioaktivitāte "piķī" (skat. 35. un 36. zīm.) ir relatīvi augsta t.i. 10^6 (salīdzinot ar gada pārējo mēnešu radioaktivitātes fonu) un arī aerosolu gada vidējā radioaktivitāte ir 10^3 reižu augstāka (skat. 37.zīm.) kā iepriekšējos tā arī tam sekojošos gados, tomēr 1986.gada vidējā aerosolu radioaktivitāte nebija tik augsta, lai pārsniegtu radionuklīdu vidējās gada normas gaisā B kategorijai (skat. 15.tab.).

15.tab. Aerosolu radionuklīdu sastāvs Salaspilī 1986.g. 29./30.aprīlī[24](PL - radionuklīda pieļaujamā īpatnējā radioaktivitāte gaisā B kategorijai[1]).

Nuklīds	$T_{1/2}$	An, ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)	An/PL
^{137}Cs	30g	3.70E+05	2.00E-02
^{103}Ru	40d	1.11E+06	1.67E-02
^{141}Ce	32d	7.40E+03	3.77E-05
^{140}La	12d	1.85E+05	1.19E-03
$^{99}\text{Mo}/^{99}\text{Tc}$	6h	1.11E+03	6.25E-09
^{239}Np	2.3d	1.67E+04	3.75E-05
^{131}I	8d	7.40E+04	1.33E-02
^{132}Te	78h	3.70E+06	2.78E-02
^{134}Cs	2g	1.48E+05	9.09E-03
^{136}Cs	13d	3.70E+05	1.75E-03
A_{int}		5.98E+06	

15.tabulas ceturtajā kolonnā ir attiecīgā radionuklīda īpatnējās radioaktivitātes attiecība pret šī paša radionuklīda pieļaujamo īpatnējo radioaktivitāti (PL_B). Dati par ^{90}Sr daudzumu aerosolos 1968.g. aprīlī un maijā Salaspilī ir 16.tab. un šie dati iegūti radioķīmiskās analizē. 16.tab. dati rāda, ka arī ^{90}Sr īpatnējā β -radioaktivitāte aerosolos ir bijusi ievērojami zemāka par normu B kategorijai [1]. 34. zīm. redzams arī, ka gaisa radioaktivitātes "piķa" laikā minimāls lietuss (0.2 mm) ir bijis vienīgi 30.aprīlī. Laikā no 26.apr. līdz 9. maijam Latvijai pāri gāja gaisa masas, kas pārnesa apm. 99% no radionuklīdiem, kas vispār pārgāja pāri Latvijai līdz maija beigām.

16.tab. ^{90}Sr īpatnējā radioaktivitāte aerosolos Salaspilī 1986.g. aprīlī un maijā[24]. (PL_B - ^{90}Sr pieļaujamā īpatnējā radioaktivitāte gaisā $1.48 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ [1])

kontroles periods	īpatn. r/a, $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$	A_n/PL_n	% no A_n
25.04.-29.04.	433.27	2.93 E-04	1.9
29.04.-30.04.	1972.1	1.33 E-03	0.2
30.04.-5.05.	112.11	7.58 E-05	0.4
5.05.-8.05.	11.47	7.75 E-06	2.5
8.05.-11.05.	370	2.50E-04	1.09
11.05.-13.05.	4.07	2.75 E-06	2.8
21.05.-23.05.	4.44	3.00E-06	2.9

Šajā laikā vidējais lietuss daudzums [mm/dienā] bija apm. 1% no vidējā lietuss daudzuma (skat. 17.tab.). Ir pierādīts [43], ka ar lietu no atmosfēras "izskaloto" radionuklīdu daudzums ir proporcionāls lietuss daudzumam. Var secināt, ka, ja šajā periodā Salaspilī un tās apkārtnē lietu vidējā līmenī, radionuklīdu daudzums, kas nonāktu augsnē un augos un citur 1986.g. aprīlī un maijā būtu daudzkārt lielāks, salīdzinot ar to kā tas faktiski bija 1986.gadā.

17.tab. Nokrišņu vidējie daudzumi (dienā un mēnesi Rīgas apkārtnē, Rīgas HMC dati), nokrišņu un aerosolu vidējā radioaktivitāte un to attiecības 1985.g. - 1989.g.[23-27].

gads	vidējais nokr. daudzums mm / mēn	vidējais nokr. daudzums mm / dienā	vidējā nokrišņu r/a $\text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{mēn}$	vidējā aerosolu r/a $\mu\text{Bq} / \text{m}^3$	aerosolu un nokrišņu vid.r/a attiecība $\mu\text{Bq}/\text{m}^3 / \text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{mēn}$
1985	58.23	1.94	5.97	3.12E+01	5.23
1986	59.85	1.99	86.18	5.81E+03	67.42
1987	46.15	1.54	8.14	9.86E+00	1.21
1988	47.77	1.59	9.39	2.69E+01	2.86
1989	47.08	1.57	5.92	1.44E+01	2.43
vidējais	53.00	1.73			15.83

18.tab. Attiecības starp aerosolu un nokrišņu radioaktivitāti Salaspilī dažādos periodos ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ / $\text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{mēn}$).

visā monitoringā	1985. - 1989.g.	1986.g.	1986.g. aprīlī	1986.g. maijā
11	16	67	170	16

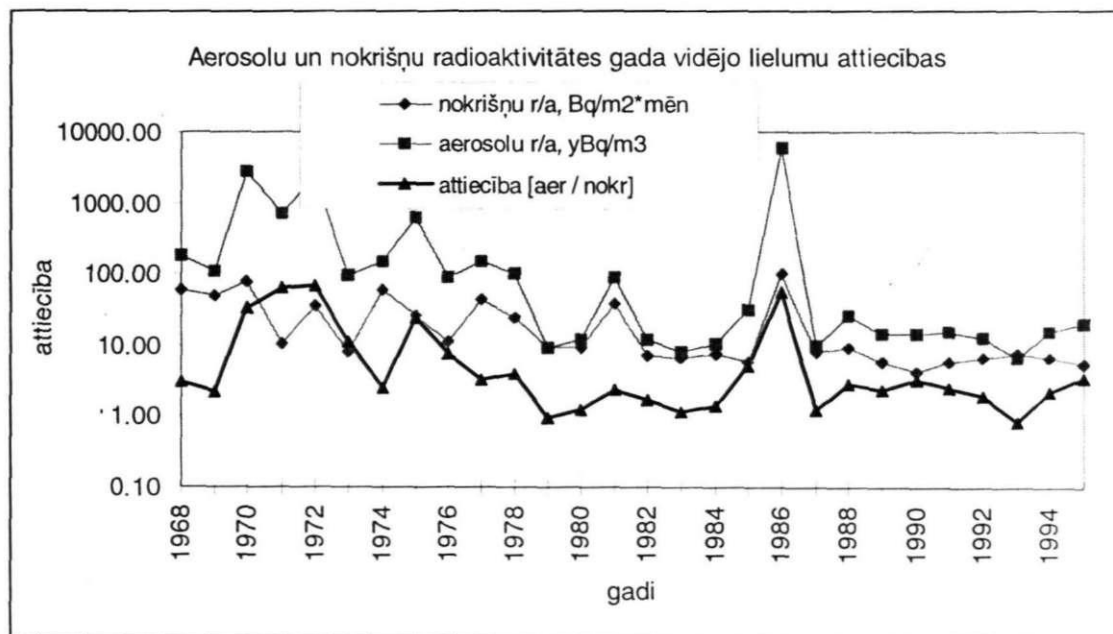
19.tab. Lietus daudzums (mm/mēn) Rīgas apkārtnē 1986.gadā.

gads	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jūn	Jūl	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	vidējais	gadā
1986	55	5	24	5	21	75	139	172	112	48	67	55	60	778

Var novērtēt, kada varētu būt nokrišņu radioaktivitāte 1986.gadā, ja gaisa radioaktivitātes "piķa" laikā lietus daudzums būtu vidējā līmenī.

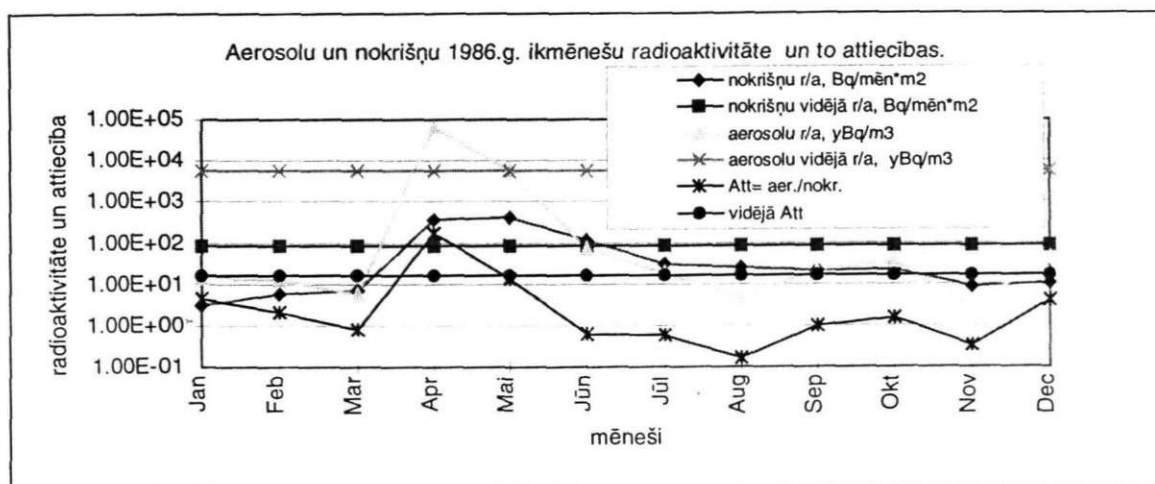
No monitoringa datiem, kuri ir 17. un 18.tab. kā arī 35. un 36. zīm., izriet, ka pie vidējiem meteoroloģiskiem apstākļiem, attiecība starp aerosolu un nokrišņu (lietus) radioaktivitāti arī būtu vidējā līmenī, t.i. 10 ± 5 . Tad no šādas loģikas seko, ka nokrišņu (lietus kopā ar sausiem nokrišņiem) iespējamā radioaktivitāte pārsniegtu 1986.g. reālo nokrišņu radioaktivitāti sekojoši:

- 7 reizes, pēc 1986.g. vidējiem datiem (skat. 18.tab.),
- 17 reizes, pēc 1986.g. aprīļa datiem (skat. 18.tab.),
- 2 reizes, pēc 1986.g.maija datiem (skat. 18.tab.).



35.zīm. Aerosolu un nokrišņu gada vidējo radioaktivitāšu attiecība [$\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ / $\text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{mēn}$].

Nav datu par nokrišņu radioaktivitāti 1986.g. aprīļa un maija atsevišķās dienās vai vairāku dienu periodos "piķa" laikā, bet ir zināms, ka lietus daudzums tad bija vismaz 100 reiz mazāks par vidējo. Tādējādi var pieņemt, ka iespējamā nokrišņu radioaktivitāte 1986.g. aprīlī un maijā būtu vairāku desmitu reižu lielāka, ja tad nolītu vidējais lietus daudzums.



36.zīm. Aerosolu un nokrišņu 1986.gada ikmēnešu un gada vidējā radioaktivitāte un aerosolu un nokrišņu ikmēnešu radioaktivitāšu attiecības.

Kā redzams no augu un augsnes kontroles datiem (skat.28.zīm.) 1986.g. augsnes radioaktivitātes paaugstināšanās nav novērota, lai gan augu radioaktivitāte ir palielinājusies apm. divas reizes. 1986. gada nokrišņu radioaktivitātes visu mēnešu summa ir apm. 1000 Bq/m² (skat.32.zīm.), kas sastāda aptuveni 5% no augsnes vidējās radioaktivitātes (skat. 28.zīm.). Tādu niecīgu augsnes radioaktivitātes paaugstinājumu novērot nav vienkārši.

Secinājums.

1. Lai gan 1986.gada aerosolu vidējā radioaktivitāte ir 10³ reižu augstāka kā iepriekšējos tā arī tam sekojošos gados, tomēr 1986.gada vidējā aerosolu radioaktivitāte nebija *tik* augsta, lai pārsniegtu radionuklīdu vidējās gada normas gaisā B kategorijai [1].

2. Iespējamā nokrišņu radioaktivitāte 1986.g. aprīlī un maijā būtu vairāku desmitu reižu lielāka, ja tad nolītu vidējais lietus daudzums.

Secinājums par 5.nod. rezultātiem.

Monitoringa periodā no 1966.g. līdz 1995.g. vides elementu ikgadējo radioaktivitāti noteica iepriekšējos gados atmosfērā izdarītie kodolsprādzieni un vides elementu ikgadējās radioaktivitātes datu augstā savstarpējā korelācija parāda radionuklīdu izplatīšanās ceļu: caur troposfēru ar nokrišņiem uz zemi, uz ūdens baseiniem, uz augiem u.t.t.

Diserācijas galvenie rezultāti.

Pirmo reizi Latvijā veikts komplekss ilgstošs vides radiācijas monitorings, kurā, izmantojot γ -spektroskopijas un β -radiometrijas metodes, no 1966.g līdz 1995.g. veikta atmosfēras, nokrišņu, ūdens, augu, augsnes un grunts radioaktivitātes sistemātiski mērījumi.

No monitoringa datiem promocijas darba ietvaros autors ieguvis šādus galvenos rezultātus :

a) parādīts, ka β -radiometrija kā ikdienas relatīvi lēta mērījumu metode, papildināta ar modernu γ -spektroskopiju, ir pietiekami laba metodiska bāze ilgstošam vides radiācijas monitoringam;

b) pierādīts, ka Salaspils kodolreaktora darbība kopumā nav paaugstinājusi vides radioaktivitātes dabisko līmeni un ikgadējās vides radioaktivitātes līmeņa izmaiņas nav nekādā sakarā ar kodolreaktora darbību.

c) parādīts, ka atmosfēras (aerosoli, putekļi, sniegs, lietus) radioaktivitātei ir sezonas raksturs un spilgti tas izpaudās gados, kad atmosfēra kodolieroču izmēģinājumu rezultātā bija ar augstāku radionuklīdu koncentrāciju;

d) atrasts, ka ir augsta korelācija aerosolu, nokrišņu un augu radioaktivitātes mērījumu starpā, aplūkojot to ikgadējo vidējo radioaktivitāti;

e) parādīts, ka vides ikgadējais vidējais radioaktivitātes līmenis, kā arī radionuklīdu saturs vidē ir saistīts ar kodolieroču izmēģinājumu atmosfērā jaudu attiecīgajos periodos ;

f) parādīts, ka

- Černobīlas kodolkatastrofas rezultātā Salaspils apkārtnē paaugstinājās vides visu elementu radioaktivitāte, bet tā nepārsniedza B kategorijas normas ,

- Latvijas vides piesārņojums ar radionuklīdiem būtu daudzkārt lielāks, ja atmosfēras radioaktivitātes "piķa" laikā Latvijā būtu lijis.

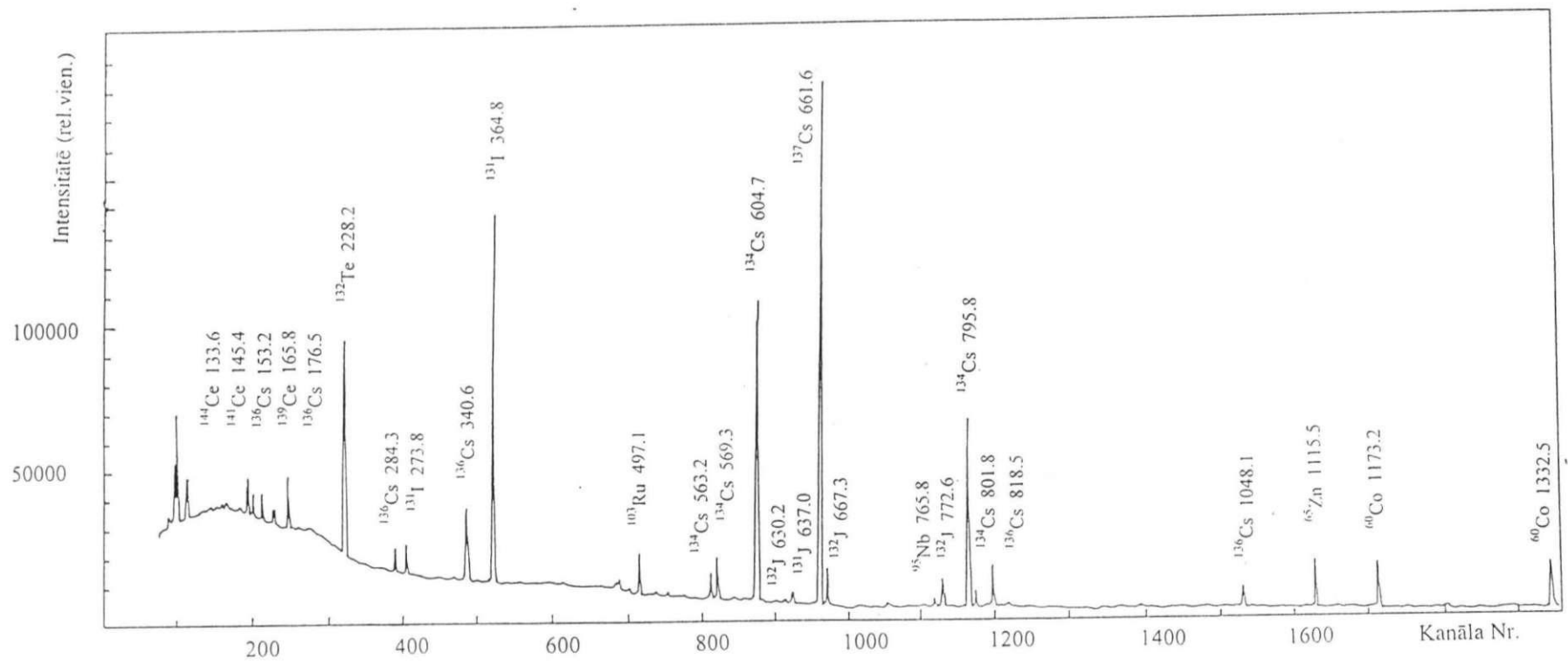
f) salīdzinājumi ar LR Hidrometeoroloģiskās pārvaldes paraugu (aerozolu, nokrišņu) mērījumiem dažādos Latvijas apvidos ļauj secināt, ka mērījumi Salaspils reaktora apkārtnē var tikt izmantoti vispārīgās radiācijas situācijas novērešanai valstī un tāpēc tos ieteicams turpināt arī pēc reaktora apturēšanas.

Nobeigums.

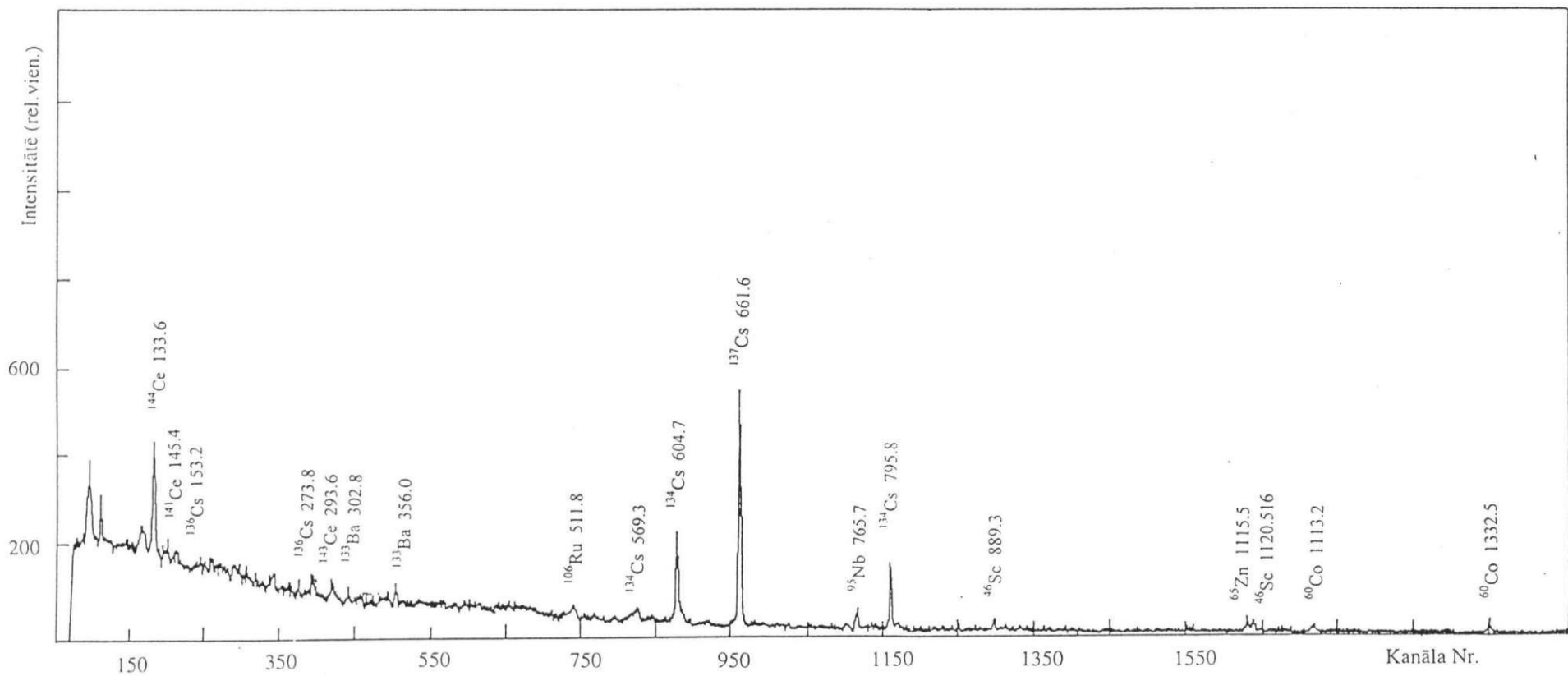
Uz γ - kodolspektroskopiju un β - radiometriju balstītā Salaspilī veiktā un gandrīz trīsdesmit gadus ilgušā vides radiācijas monitoringa rezultāti ļauj spriest nevien par to, ka Salaspils kodolreaktora darbība nav paaugstinājusi apkārtnes vides dabisko radioaktivitātes līmeni, bet arī zināmā mērā raksturo vides radioaktivitāti visā Latvijā - periodā, kad vēl atmosfērā notika intensīvi kodolieroču izmēģinājumu sprādzieni, un arī periodā pēc to pārtraukšanas.

Izsaku pateicību visiem līdzstrādniekiem, līdzautoriem un praktiskā eksperimentālā darba veicējiem, kuri piedalījās šajā ilgstošajā monitoringā un sekmēja šī promocijas darba veikšanu.

J. Alksnis
12.03.98.



Gamma-spektrs aerosolu paraugam, kas savākts 1986.g. 25./29. aprīli Salaspīli



Salaspils kodolreaktora 1. kontura ūdens γ -spektrs (paraugs ņemts 1990.g. 14.februāri pie jaudas 5 MW)

Literatūra

1. Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений.- ОСП-72\87, изд.3, Москва, 1988, с. 38, 128.
2. Санитарные правила проектирования и эксплуатации ядерных реакторов исследовательского назначения, № 1128-73.- Москва, 1974, с.23-27.
3. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды.- Москва, 1980, с. 10-45.
4. Инструктивно-методические указания по работе санитарно-эпидемиологических станций в области радиационной гигиены.- Москва, 1960, с. 6-8, 11-75.
5. Методические указания по санитарно-дозиметрическому контролю в районах расположения исследовательских ядерных реакторов, № 428-63. - Ленинград, 1963, с. 8-12.
6. В.А. Дементьев. "Измерение малых активностей радиоактивных препаратов".- Москва, 1967, с. 91.
7. K. Haberer. Atompraxis.- 1964, 10, No. 2, p. 98 .
8. C.M. Lederer, V.S. Shirley. " Table of Isotopes ".- Seventh edition, 1978, p. 91.
9. В.В. Гавар, Я.К. Алкснис, И.А. Гренер. " Отчёт о состоянии радиационной безопасности в санитарно-защитной зоне атомного реактора Института физики АН Латвийской ССР в 1968 году" . - Института физики, 1968.
10. В.В. Гавар, Я.К. Алкснис, И.А. Гренер. " Отчёт о состоянии радиационной безопасности в санитарно-защитной зоне атомного реактора Института физики АН Латвийской ССР в 1969 году" . - Института физики, 1969
11. В.В. Гавар, Я.К. Алкснис, Э.Ю.Илзиня. " Отчёт о состоянии радиационной безопасности в санитарно-защитной зоне атомного реактора Института физики АН Латвийской ССР в 1970 году" . - Института физики, 1970.
12. В.В. Гавар, Я.К. Алкснис, Э.Ю.Илзиня. " Отчёт о состоянии радиационной безопасности в санитарно-защитной зоне атомного реактора в 1972 году" . - Институт Физики, Саласпилс, 1972.
13. В.В. Гавар, Я.К. Алкснис, З.Б. Калниня. " Отчёт о состоянии радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне атомного реактора в 1975 году" . - Институт Физики, Саласпилс, 1975.
14. В.В. Гавар, Я.К. Алкснис, В.И. Соколов. " Отчёт о состоянии радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне атомного реактора в 1976 году" . - Институт Физики, Саласпилс, 1977.
15. В.В. Гавар, Я.К. Алкснис, В.И. Соколов. " Отчёт о состоянии радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне атомного реактора в 1977 году" . - Институт Физики, Саласпилс, 1978.

16. В.В. Гавар, **Я.К. Алкснис**, В.Г. Грингоф. "Отчёт о состоянии радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне атомного реактора в 1978 году".- Институт Физики, Саласпилс, 1979.
17. В.В. Гавар, **Я.К. Алкснис**. "Отчёт о состоянии радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне атомного реактора в 1979 году".- Институт Физики, Саласпилс, 1980.
18. В.В. Гавар, **Я.К. Алкснис**, Х.А. Жуковская. "Отчёт о состоянии радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне атомного реактора в 1980 году".- Институт Физики, Саласпилс, 1981.
19. В.В. Гавар, **Я.К. Алкснис**, Х.А. Жуковская. "Отчёт о состоянии радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне атомного реактора в 1981 году".- Институт Физики, Саласпилс, 1982.
20. В.В. Гавар, **Я.К. Алкснис**, Х.А. Жуковская. "Отчёт о состоянии радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне атомного реактора в 1982 году".- Институт Физики, Саласпилс. 1983.
21. В.В. Гавар, **Я.К. Алкснис**, Х.А. Жуковская. "Отчёт о состоянии радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне атомного реактора в 1983 году".- Институт Физики, Саласпилс, 1984.
22. В.В. Гавар, **Я.К. Алкснис**, Х.А. Ансоне. "Отчёт о состоянии радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне атомного реактора в 1984 году".- Институт Физики, Саласпилс, 1985.
23. В.В. Гавар, **Я.К. Алкснис**, Х.А. Ансоне. "Отчёт о состоянии радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне атомного реактора в 1985 году".- Институт Физики, Саласпилс, 1986.
24. В.В. Гавар, **Я.К. Алкснис**, Г.В. Лея. "Отчёт о состоянии радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне атомного реактора в 1986 году".- Институт Физики, Саласпилс, 1987.
25. В.В. Гавар, **Я.К. Алкснис**, Г.В. Лея. "Отчёт о состоянии радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне атомного реактора в 1987 году".- Институт Физики, Саласпилс, 1988.
26. В.В. Гавар, **Я.К. Алкснис**, Г.В. Лея. "Отчёт о состоянии радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне атомного реактора в 1988 году".- Институт Физики, Саласпилс, 1989.
27. Dz. Kalniņš, **J.Aiksnis**, G.Leja. "Radiācijas ekoloģiskās kontroles rezultāti Salaspils kodolreaktora sanitārajā zonā 1989. gadā". - Fizikas institūts, 1990.
28. Dz. Kalniņš, **J.Aiksnis**, G.Leja. "Radiācijas ekoloģiskās kontroles rezultāti Salaspils kodolreaktora sanitārajā zonā 1990. gadā". - Fizikas institūts, 1991.
29. Dz. Kalniņš, **J.Aiksnis**, G.Leja. "Radiācijas ekoloģiskās kontroles rezultāti Salaspils kodolreaktora sanitārajā zonā 1991. gadā". - Fizikas institūts, 1992.

30. Dz. Kalniņš, **J.Aiksnis**, G.Leja. "Radiācijas ekoloģiskās kontroles rezultāti Salaspils kodolreaktora sanitārajā zonā 1992. gadā". - Kodolpētniecības centrs, 1993.
31. Dz. Kalniņš, **J.Aiksnis**, Ā.Bērziņa. "Radiācijas ekoloģiskās kontroles rezultāti Salaspils kodolreaktora sanitārajā zonā 1993. gadā". - Kodolpētniecības centrs, 1994.
32. Dz. Kalniņš, **J.Aiksnis**. "Radiācijas ekoloģiskās kontroles rezultāti Salaspils kodolreaktora sanitārajā zonā 1994. gadā". - Kodolpētniecības centrs, 1995.
33. Dz. Kalniņš, **J.Aiksnis**. "Radiācijas ekoloģiskās kontroles rezultāti Salaspils kodolreaktora sanitārajā zonā 1995. gadā". - Kodolpētniecības centrs, 1996.
34. Dz. Kalniņš, **J.Aiksnis**, G.Leja. "Radiācijas fona pētījumi ZA Kodolpētniecības centra sanitārajā zonā plānotajā ģipša atradņu izstrādes laukā". Atskaite.- Kodolpētniecības centrs, Salaspilī, 1992.
35. **J.Aiksnis**, V.Gavars, A.Millers. "Vai atomreaktors ir bistams?" - Zinātne un tehnika, 11, 1980, 9 lpp.
36. **Аикснис Я.К.**, Ансоне Х.А., Гаварс В.В. "Динамика изменения средней радиоактивности осадков в районе расположения ядерного реактора ИРТ Института физики АН Латвийской ССР в период 1968 - 1984 г.г." доклад в III Всесоюзной школе по радиохимии. - Юрмала, 1985.
37. P.Prokofjev, J.Bērziņš, **J.Aiksnis**. "Some aspects of the radiologic situation in Latvia". - Umweltradioaktivität Radioökologie Strahlenwirkungen. Band 1, 25.Jahrestagung Binz auf Rügen, 28.-30. September 1993, p. 230-235.
38. J. Berzins, **J.Aiksnis**, V.Bute, I.Ljulko, T.Vasiljeva. "Control of the radiation situation in Latvia with the methods of gamma spectroscopy and beta activation measurements". - 8th Nordic Meeting on Nuclear Physics, Ronneby Brunn, Sweden, June 5-9, 1995, p. 95-96.
39. J.Berzins, **J.Aiksnis**, V.Bute, I.Upītis, I.Ljulko, T.Vasiljeva. "Environmental radioactivity monitoring in Latvia". - 1996 International Congress on Radiation Protection, Ninth International Congress of the International Radiation Protection Association, April 14-19, 1996, Proceedings / Volume 2, p. 596-598.
40. W. Kolb. Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden in der bodennahen Luft Norddeutschlands und Nordnorwegens im Zeitraum von 1963 bis 1990, Braunschweig, März 1992, PTB-Ra-29.
41. А.Э. Шемьи-Заде. "О сезонных экстремумах концентрации продуктов ядерного деления в атмосфере". Атомная энергия, 1972, т.32, вып. 4, с.350.
42. M. Zier. Kernenergie, 1967, 10, Nr 2, 59.
43. D. Capra, U. Facchini, V. Gianelle and G. Ravasini. "The Chernobyl Accident the Radioactive Contamination in the Area of Lake Como and in Other Northern Italy Sites". - I nuovo cimento, vol. 10 C, N. 3, 285.

44. Дозиметрический и радиометрический контроль при работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений. т.1, Москва, Атомиздат, 1980, с. 79.
45. I.Gans. "Sampling and measuring techniques in environmental monitoring" - The radioecology of natural and artificial radionuclides. Proceedings of the Xvth Regional Congress of IRPA Visby, Gotland, Sweden, 10-14 September, 1989. 451-458.
46. P.T.Prokofjevs, **J.K.Aiksnis**, M.K.Balodis, J.J.Tamberg. The properties of $K^\pi = 2^-$ and $K^\pi = 3^-$ rotational bands in ^{166}Ho . The XXI meeting on nuclear spectroscopy and nuclear structure. Moscow, 1971. Book of abstracts, Nauka, Leningrad, 1971, p.106-107(in Russian)
47. M.K.Balodis, **J.K.Aiksnis**, P.T.Prokofjevs, W.G.Vonach, H.R.Koch, U.Gruber. B.P.Maier, O.W.B.Schult, J.J.Tamberg. The level scheme of ^{176}Lu investigated by (n,γ) and (n,e) reaction. Nucl. Phys. A194, Nr.2, 1972, p. 305-328.
48. M.K.Balodis, **J.K.Aiksnis**, P.T.Prokofjevs, J.J.Tamberg, J.M.Van den Cruyce, G.Vandenput, L.Jakobs, P.H.M.Van Assche, H.A.Baader, D.Breitig, H.R.Koch, W.Delang et. al. Rotational structure of the double odd deformed ^{182}Ta nucleus. Proceedings Int.Conf.Nucl.Phys., Munich 1973, vol.1 (North Holland, Amsterdam, 1973) p.153.
49. M.K.Balodis, **J.K.Aiksnis**, J.J.Tamberg. The $K^\pi = 1^-$ band in odd-odd nucleus ^{166}Ho . The XIII meeting on neutron deficient nuclei spectroscopy and def. nuclei theory. Dubna, 1973. Preprint D6-7094, Dubna, 1973, p.166-167 (in Russian).
50. M.K.Balodis, **J.K.Aiksnis**, P.T.Prokofjevs, J.M.Van den Cruyce, T.Vandenput, L.Jakobs, P.H.M.Van Assche, J.J.Tamberg, H.A.Baader, D.Breitig, H.R.Koch, W.Delang et.al. The $K^\pi = 1^-$ band in odd-odd nucleus ^{182}Ta . The XXIII meeting on nuclear spectroscopy and nuclear structure. Tbilisi, 1973. Book of abstracts. Nauka. Leningrad, 1973. p. 106 (in Russian).
51. M.K.Balodis, **J.K.Aiksnis**, P.T.Prokofjevs, J.M.Van den Cruyce, G.Vandenput, L.Jakobs, P.H.M.Van Assche, J.J.Tamberg, H.A.Baader, D.Breitig, H.R.Koch, W.Delang et.al. Rotational structure of the double odd deformed ^{182}Ta nucleus. Nuclear physics with thermal and resonance energy neutrons, Pettau, Netherlands, 22May 1973, Reactor centrum Nederland, RCN-203, Dec. 1973, p.57-68.
52. M.K.Balodis, **J.K.Aiksnis**, P.T.Prokofjevs, J.J.Tamberg, J.M.Van den Cruyce, T.Vandenput, L.Jakobs, P.H.M.Van Assche, H.A.Baader, D.Breitig, H.R.Koch, W.Delang et.al. The positive parity rotational bands in ^{182}Ta nucleus. The XXIV meeting on nuclear spectroscopy and nuclear structure. Harkov, 1974. Book of abstracts. Nauka. Leningrad. 1974, p. 147-148 (in Russian).
53. **J.K.Aiksnis**, M.K.Balodis, P.T.Prokofjevs, J.J.Tamberg, J.M.Van den Cruyce, T.Vandenput, L.Jakobs, P.H.M.Van Assche, H.A.Baader, D.Breitig, H.R.Koch, W.Delang et.al. Nuclear levels in the double odd ^{182}Ta nucleus. Phys. Rev. C, vol. 20, Nr.2. 1979, p. 504-527.