

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**RAZISKOVANJE PRISOTNOSTI STRONCIJA 90 V
SLOVENIJI**

ANTON PATRIK VRABER

Velenje, 2018

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**RAZISKOVANJE PRISOTNOSTI STRONCIJA 90 V
SLOVENIJI**

**RESEARCHING THE PRESENCE OF STRONTIUM – 90 IN
SLOVENIA**

Anton Patrik Vraber

Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentor: izr. prof. dr. Leo Šešerko

Velenje, 2018

Številka: 726-41/2016-2

Datum: 4. 12. 2017

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

Študent Visoke šole za varstvo okolja **Anton Patrik Vraber** lahko izdela diplomsko delo z naslovom v slovenskem jeziku:

Raziskovanje prisotnosti stroncija 90 v Sloveniji.

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku:

Exploring the presence of Strontium - 90 in Slovenia.

Mentor: **izr. prof. dr. Leo Šešerko.**

Diplomsko delo mora biti izdelano v skladu z Diplomskim redom VŠVO.

Pouk o pravnem sredstvu: zoper ta sklep je dovoljena pritožba na Senat VŠVO v roku 8 delovnih dni od prejema sklepa.



Izr. prof. dr. Boštjan Pokorny
dekan

Visoka šola za varstvo okolja

Trg mladosti 7 | 3320 Velenje

t: 03 898 64 10 | f: 03 89864 13 | e: info@vsvo.si

www.vsvo.si



IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Anton Patrik Vraber, vpisna številka 34110045, študent visokošolskega strokovnega študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije, sem avtor diplomskega dela z naslovom RAZISKOVANJE STRONCIJA 90 V SLOVENIJI, ki sem ga izdelal pod

- mentorstvom izr. prof. dr. Lea Šešerka.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- oddano delo ni bilo predloženo za pridobitev drugih strokovnih nazivov v Sloveniji ali tujini;
- so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili VŠVO;
- so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili VŠVO;
- se zavedam, da je plagiatstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na VŠVO;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in da je delo lektorirala Alenka Miler, univ. dipl. slov. in spl. jez.;
- dovoljujem objavo diplomskega dela v elektronski obliki na spletni strani VŠVO;
- sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

Datum: ____ . ____ . _____

Podpis avtorja: _____

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Leu Šešerku za vso strokovno pomoč in nasvete pri pisanju diplomskega dela ter za skupen čas.

Hvala tudi družini in prijateljem.

Izveček

Stroncij 90 je umetni radionuklid, ki nastane kot stranski proizvod pri jedrski fisiji. Nastane torej pri delovanju jedrskih elektrarn in kot eden izmed radionuklidov predstavlja tveganje za zdravje ljudi. Zaradi podobnosti s kalcijem se stroncij 90 kopiči v okostju in zobeh, kar povečuje verjetnost razvoja rakavih obolenj (levkemija, kostni rak ...).

Skozi zgodovino so se zgodile številne jedrske katastrofe in jedrski poizkusi, ki so ta radionuklid sproščali v okolje. Kot radioaktivni izotop stroncija ima stroncij 90 razpolovni čas 29 let. V človekovo telo prihaja z zauživanjem hrane in vode, manjši delež pa lahko tudi s pomočjo prašnih delcev. Biološki razpolovni čas stroncija 90 v telesu od 3 do 20 let.

Opisane so jedrske nesreče, metode, kako določiti stroncij 90 v različnih medijih, ter koncentracije stroncija 90 v Sloveniji in predstavitev drugih pomembnih raziskav

Ključne besede

Stroncij 90, jedrska katastrofa, bioakumulacija, nevarnost za zdravje, izpostavljanje, fisija, iskalec kosti

Abstract

Strontium 90 artificial radionuclide, which is produced as a by-product of nuclear fission. So it is created when a nuclear power plant is operating. As one of many it also presents a risk to human health. Due to its similarity with calcium, strontium 90 accumulates in the skeleton and teeth, which increases the likelihood of developing cancer diseases (leukemia, bone cancer...).

Throughout history, there have been numerous nuclear disasters and nuclear tests that have released this radionuclide into the environment. Strontium 90 has a half-life of 29 years. It enters the human body by food and water intake. A smaller proportion with the help of dust particles. The biological half-life of strontium 90 in the body is 3 to 20 years.

Nuclear disasters, methods of determining strontium 90 in various media, concentration of strontium 90 in Slovenia and presentation of other important research are described.

Keywords

Strontium 90, nuclear disaster, bioaccumulation, health hazard, exposure, fission, bone seeker

SIMBOLI IN OKRAJŠAVE

NIJZ	Nacionalni inštitut za javno zdravje
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
UNSCEAR	The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
U.S. NRC	United States Nuclear Regulatory Commission
MEXT	Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology
TEPCO	Tokyo Electric Power Company Holdings Inc.
RPHP	Radiation and Public Health Project
MeV	megaelektronvolt
OR	Odds ratio
WWER	Water-Water Energetic Reactor
URSJV	Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost
RBMK	High Power Channel-type Reactor
UE	Uradni list Evropske unije
U.S. HHS	United States Department of Health and Human Services
LLD	Lower Limit of Detection
ZDA	Združene države Amerike
NEA	Nuclear Energy Agency
EBI	Encyclopaedia Britannica, Inc.
USP	United States Patent
CPF	City Population Fukushima
NIRS	National Institute of Radiological Sciences
ARAO	Agencija za radioaktivne odpadke
LD50	smrtni odmerek
CAS	registrska številka
EC	številčni indikator
N	nevtron
p ⁺	proton
e ⁻	elektron
Sv	sievert
Sv/h	sievert na uro
mSv	milisievert
pCi	pikocurie
a	ar
EC50	half-maximal effective concentration
M	meter
m ³	kubični meter
km	kilometer
µm	mikrometer
°C	stopinj Celzija
g	gram
h	ura
cm	centimeter
kg	kilogram
l	liter
Bq	bekerel
pBq	pikobekerel
Bq/g	bekerel na gram
Bq/kg	bekerel na kilogram

Bq/l	bekerel na liter
TBq	terabekerel
GBq	gigabekerel
MW	megavat
N	sever
E	vzhod
Sr	stroncij
Sr 90	stroncij 90
Sr 89	stroncij 89
Sr 86	stroncij 86
Sr 87	stroncij 87
Sr 88	stroncij 88
Sr 85	stroncij 85
Rb	rubidij
Rb 87	rubidij 87
Y 89	itrij 89
Y 90	itrij 90
K 40	kalij 40
Rn 222	radon 222
Rn 220	radon 220
Rn 219	radon 219
U 238	uran 238
U 235	uran 235
Kr 85	kripton 85
Xe 133	ksenon 133
Te 132	telur 132
I 131	jod 131
I 132	jod 132
I 133	jod 133
I 135	jod 135
Cs	cezij
Cs134	cezij 134
Cs137	cezij 137
Ru103	rutenij 103
Ru106	rutenij 106
Ba140	barij 140
Ca	kalcij
HNO ₃	dušikova kislina
H ₂ SO ₄	žveplova kislina
HCl	klorovodikova kislina
Na ₂ CO	natrijev karbonat
Ba	barij
t _m	čas merjenja
t ₀	čas merjenja ničelnega učinka
u(a)	merilna negotovost aktivnosti pri času jemanja vzorca
u _{rel} (f ₂)	merilna negotovost korekcijskega faktorja za razpadanje Sr90 med časom vzorčenja in začetkom merjenja
u _{rel} (φA)	merilna negotovost kalibracijskega faktorja
u _{rel} (ηSr)	merilna negotovost kemijskega izkoristka stroncija
u _{rel} (m _{TM})	merilna negotovost mase vzorca

ϕ_A	kalibracijski faktor, povezan z dejavnostjo
η_{Sr}	kemijski donos stroncija
a	specifična aktivnost Sr 90
f_2	korekcijski faktor za razpad delovanja Sr 90 za časovno obdobje med vzorčenjem in začetkom meritve
m_{TM}	masa vzorca
R_n	neto stopnja priprava
R_b	bruto štetje
R_0	hitrost štetja ničelnega učinka
t_{Sr-90}	razpolovni čas Sr 90
R_{Sr90}	vsebnost Sr 90 pri karbonatnem impulzu
ϕ_2	kalibracijski faktor za Sr 90
η_{Sr}	kemijski donos stroncija
$SrCO_3$	stroncijev karbonat
$SrSO_4$	celestin
β^-	negativni razpad beta
β^+	pozitivni razpad beta
A	aktivnost Sr 90 v vzorcu
R	štetje in odštevanje vzorca
R_{s+b}	štetje in odštevanje vzorca
R_h	stopnja štetja ozadja
t_s	merilni čas (vzorca)
t_h	merilni čas (ozadja)
Y_{Sr}	kemijski izkoristek ločevanja
η_{Sr-90}	štetje učinkovitosti Sr 90
η_{Y-90}	štetje učinkovitosti Y 90
h	konstanta razpadanja za Y 90
t	čas ločevanja Sr 90

Kazalo vsebine

1. Uvod	1
1.2 Namen	1
1.3 Cilji	1
1.4 Hipoteze	1
1.5 Metode dela	2
2. Stroncij 90 in izpostavljenost človeka	3
2.1 Vloga kalcija in kje se nahaja v telesu	4
3. Izpostavljenost človeka sevanju	5
3.1 Naravno sevanje	5
3.2 Umetno sevanje	6
3.3 Radioaktivne snovi v okolju in bioakumulacija	6
3.4 Razpad beta	8
3.4.1 Razpad beta (β^-)	8
4. Delovanje tlačnovodnega reaktorja PWR (Pressurized Water Reactor)	9
4.1 Zagon reaktorja	9
5. Jedrske nesreče	10
5.1 Jedrska elektrarna Černobil	10
5.1.1 Vrsta reaktorja	12
5.1.2 Reaktor RBMK	13
5.2 Jedrska elektrarna Fukušima Daiči	14
5.2.1 Potres in izguba energije	14
5.2.2 Cunami	16
5.2.3 Izpusti	17
5.3 Jedrska elektrarna Otok treh milj	20
6. Pregled tujih raziskav v izbranih okolijskih vzorcih	22
6.1 Primerjava koncentracije stroncija 90 v govedu v okolici jedrske elektrarne Fukušima	22
6.2 Koncentracija stroncija 90 v spodnjem delu čeljusti pri jelenu	23
6.3 Koncentracija stroncija 90 v mlečnih zobeh	24
6.3.1 Študija mlečnih zob RPHP »Tooth Fairy Project«	25
7. Ugotavljane stroncija 90	28
• Metoda tekočinske scintilacije	28
• Gama spektrometrija	28
• Scintilacijski števec	28
7.1 Ugotavljanje stroncija 90 v tleh	29
7.2 Ugotavljanje stroncija 90 v vodi:	29
7.3 Ugotavljanje stroncija 90 v hrani	31
8. Monitoring stroncija 90 v Sloveniji	34
8.1 Ljubljana	34
8.1.1 Primerjava koncentracije stroncija 90 v tleh med Ljubljano in Fukušimo 2011	45
8.1.2 Migracijske lastnosti stroncija 90 v tleh	45
8.2 Krško	46
9. Rezultati in razprava	51
9.1 Rezultati	51
9.2 Razprava	55
10. Zaključek	56
11. Povzetek	57
12. Summary	58
13. Viri in literatura	59

Kazalo slik

Slika 1: Razpad Sr 90.....	3
Slika 2: Bioakumulacija radionuklidov.....	7
Slika 3: Tlačnovodna jedrska elektrarna.....	9
Slika 4: Zgradnja reaktorja iz Černobila.....	13
Slika 5: Epicenter velikega potresa in jedrske elektrarne v bližini obale.....	15
Slika 6: Reaktor TMI-2.....	21
Slika 7: Koncentracije Sr 90 in Cs v kosteh goveda.....	22
Slika 8: Zobje odraslega goveda.....	22
Slika 9: Zobje mladega goveda.....	22
Slika 10: Spodnja čeljust jelena.....	23
Slika 11: Scintilacijski števec.....	28
Slika 12: Priprava vzorca.....	30

Kazalo grafov

Graf 1: Izpostavljenost naravnemu in umetnemu sevanju.....	6
Graf 2: Dnevne emisije v času jedrske katastrofe.....	13
Graf 3 Primerjava koncentracije Sr 90 v mleku kravjem med leti 2010, 2011 in 2012.....	34
Graf 4: Primerjava koncentracije Sr 90 v mleku kravjem med leti 1985, 1986 in 1987.....	35
Graf 5: Primerjava koncentracije Sr 90 v mleku kravjem med leti 1980, 1981 in 1982.....	35
Graf 6: Primerjava koncentracije Sr 90 v mleku kravjem med leti 1980 - 84 in 2010 – 14.....	36
Graf 7: Primerjava koncentracije Sr 90 v otroški hrani med leti 2010, 2011 in 2012.....	37
Graf 8: Primerjava koncentracije Sr 90 v otroški hrani med leti 1985, 1986 in 1987.....	37
Graf 9: Primerjava koncentracije Sr 90 v otroški hrani med leti 1980, 1981 in 1982.....	38
Graf 10: Primerjava koncentracije Sr 90 v padavinah med leti 2010, 2011 in 2012.....	39
Graf 11: Primerjava koncentracije Sr 90 v padavinah med leti 1985, 1986 in 1987.....	39
Graf 12: Primerjava koncentracije Sr 90 v padavinah med leti 1980, 1981 in 1982.....	40
Graf 13: Primerjava koncentracije Sr 90 v padavinah med leti 1980 – 1984 in 2010 – 2014.....	40
Graf 14: Primerjava koncentracije Sr 90 v tleh med leti 2010, 2011 in 2012.....	43
Graf 15: Primerjava koncentracije Sr 90 v tleh med leti 1985, 1986 in 1987.....	43
Graf 16: Primerjava koncentracije Sr 90 v tleh med leti 1980, 1981 in 1982.....	44
Graf 17: Primerjava koncentracije Sr 90 v tleh med leti 1980 – 1984 in 2010 – 2014.....	44
Graf 18: Primerjava koncentracije Sr90 v tleh med Ljubljano in Fukušimo v letu 2011.....	45
Graf 19: Primerjava koncentracije Sr 90 v padavinah med leti 2010, 2011 in 2012.....	46
Graf 20: Primerjava koncentracije Sr 90 v padavinah med leti 1985, 1986 in 1987.....	47
Graf 21: Primerjava koncentracije Sr 90 v padavinah med leti 1984 – 1987 in 2011 – 2014.....	47
Graf 22: Primerjava koncentracije Sr 90 v pitni vodi med leti 2010, 2011 in 2012.....	48
Graf 23: Primerjava koncentracije Sr 90 v pitni vodi med leti 1982, 1983 in 1984.....	49
Graf 24: Primerjava koncentracije Sr 90 v pitni vodi med leti 1982 - 1985 in 2011 - 2014.....	49
Graf 25: Primerjava koncentracije Sr 90 v ribah mrena (<i>Barbus barbus</i>) med leti 2010 – 2014.....	50
Graf 26: Delež anketirancev po spolu.....	50
Graf 27: Delež anketirancev po starosti.....	51
Graf 28 : Izobrazba anketiranih.....	51
Graf 29: Delež anketirancev, ki so seznanjeni z elementom stroncijem 90.....	52
Graf 30: Odgovor o tveganju zdravja s strani stroncija 52.....	53
Graf 31: Mnenje o opravljanju rednega monitoringa stroncija 90 v Sloveniji.....	53

Graf 32: Delež anketirancev, ki bi bili pripravljeni financirati raziskavo o koncentraciji stroncija 90.....54

Kazalo preglednic

Preglednica 1: Sestava naravne izpostavljenosti sevanju	5
Preglednica 2: Naravno in umetno sevanje.....	6
Preglednica 3: Koncentracija sevanja naravnega ozadja.....	7
Preglednica 4: Jedrska katastrofa Černobil.....	10
Preglednica 5: Izpust radionuklidov kot posledica nesreče	14
Preglednica 6: Koncentracija izpuščenih žlahtnih plinov	17
Preglednica 7: Izpusti izmerjeni aprila 2011.....	18
Preglednica 8: Izpusti Sr 90.....	19
Preglednica 9: Koncentracije Sr 90 in Cs 137 v rastlinah.....	23
Preglednica 10: Koncentracije Sr 90 v vzorcih.....	24
Preglednica 11: Koncentracija Sr 90 v mestih ZDA in Kanade – sekalci otrok, rojenih leta 1957 (hranjeni iz steklenice).....	26
Preglednica 12: Živo rojeni na leto in koncentracija Sr 90 v sekalcih (v ZDA od 1950-1969).....	27
Preglednica 13: Najvišje dovoljene koncentracije Sr 90 v živilih.....	31
Preglednica 14: Koncentracija stroncija 90 v živilih	32
Preglednica 15: Koncentracije Sr 90 v kravjem mleko v Ljubljani	34
Preglednica 16: Koncentracije Sr 90 v otroški hrani v Ljubljani.....	36
Preglednica 17: Koncentracije Sr 90 v padavinah v Ljubljani	38
Preglednica 18: Koncentracije Sr 90 v tleh v Ljubljani	41
Preglednica 19: Koncentracije Sr 90 v tleh za leto 2011 v Ljubljani in Fukošimi	45
Preglednica 20: Koncentracije Sr 90 v padavinah v Krškem	46
Preglednica 21: Koncentracije Sr 90 v pitni vodi v Krškem	48
Preglednica 22: Koncentracije Sr 90 v ribah mrena (<i>Barbus barbus</i>) ulovljenih v Krškem...50	

1. Uvod

Sodobno življenje zahteva veliko električne energije. Ta potreba narašča skupaj z vedno večjim številom prebivalstva.

Odgovor na porabo električne energije so našli v obliki izkoriščanja jedrskih reakcij. Tako so leta 1954 končali gradnjo prve jedrske elektrarne v kraju Obninsk v Rusiji. Jedrska energija je predstavljala novi vir energije, ki se lahko koristi daleč v prihodnost in v danem trenutku ni predstavljala nevarnosti.

Danes ob jedrski energiji pomislimo na hude nesreče, ki so se pripetile v preteklosti. Postavilo se je vprašanje, ali je jedrska energija primerna za pridobivanje električne energije. Mnenja javnosti in strokovnjakov so zelo različna, kajti jedrska energija ima veliko slabosti in prav tako prednosti. Vendar vsi vemo, da obstajajo vplivi jedrskih elektrarn na ljudi in okolje.

Pri pisanju diplomske naloge sem pridobil podatke o stronciju 90 s strani različnih javnih in državnih ustanov.

1.1 Opis problema

Leta 1981 je začela obratovati nuklearna elektrarna Krško in z začetkom proizvodnje električne energije so sledili stranski proizvodi v obliki radionuklidov. V nuklearni industriji nastaja okoli tristo radionuklidov (atomi radioaktivnih snovi) in eden izmed njih je izotop stroncija. Stroncij 90 in ostali radionuklidi zaradi svojih kemijskih lastnosti ogrožajo zdravje ljudi (Neu idr. 2010). Kljub 37-letnemu delovanju nuklearke v Sloveniji se negativni vplivi zaradi ugleda in morebitnih projektov v prihodnosti ne oglašujejo v medijih. Splošno poznavanje delovanja jedrskih elektrarn in njihovih morebitnih posledic je zato v Sloveniji zelo skromno.

1.2 Namen

Namen diplomske naloge je, predstaviti in ugotoviti mesto stroncija 90 med radionuklidi, ki nastajajo v jedrskih elektrarnah, raziskati, zakaj je poznavanje specifično tega radionuklida skromno, ter predstaviti delovanje jedrske elektrarne in ozaveščati splošno javnost.

1.3 Cilji

C1: Ugotoviti mnenja ljudi o jedrski energiji in njeni prihodnosti.

C2: Spodbuditi zanimanje pri splošni javnosti oz. ljudeh, ki so sodelovali pri anketi.

C3: Ugotoviti stopnjo seznanjenosti in stopnjo ozaveščenosti prebivalstva glede stroncija 90.

C4: Ugotoviti vzroke za pomanjkljivosti pri določevanju stroncija 90 v ljudeh.

1.4 Hipoteze

H1: Ozaveščenost javnosti glede stroncija 90 je zelo skromna.

H2: Koncentracije stroncija 90 v Sloveniji ne ogrožajo zdravja ljudi.

H3: V Sloveniji se opravlja reden monitoring stroncija 90.

1.5 Metode dela

Pri izdelavi diplomske naloge sem uporabil naslednje metode dela:

- opisne ali deskriptivne metode dela: pregled že obstoječih virov in preučevanje virov, ki so pomembni za raziskovanje zastavljenega problema;
- zgodovinske ali historične metode dela: preučevanje starejših virov (pisnih virov);
- analizne metode dela: analiziranje dobljenih podatkov in njihovo povezovanje s hipotezami;
- eksperimentalna metoda dela: predvidevana uporaba anket.

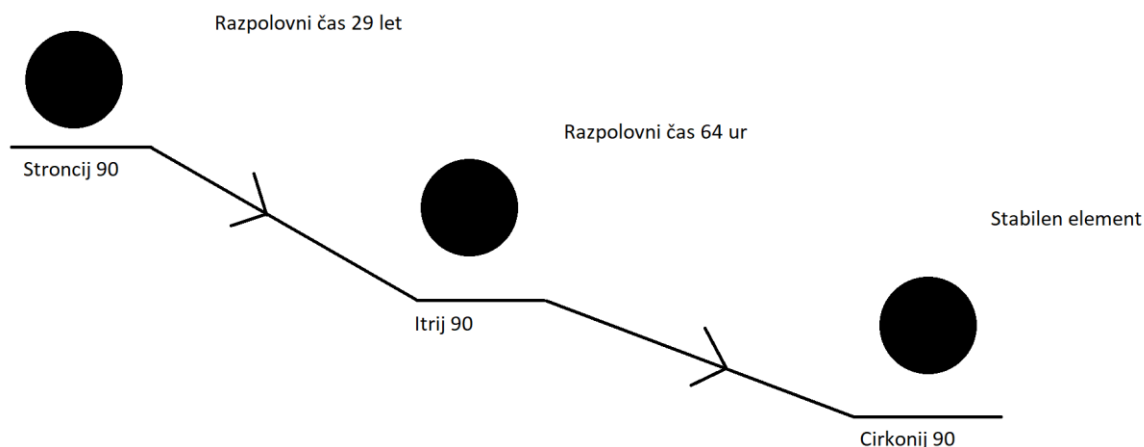
Z anketami bom ugotavljal seznanjenost in stopnjo ozaveščenosti staršev glede jedrske energije in vplivov stranskih proizvodov na otroke. Prav tako bomo preverili njihovo mišljenje in mnenje o tej temi.

2. Stroncij 90 in izpostavljenost človeka

Stroncij je kemijski element s simbolom Sr in atomskim številom 38, ki so ga odkrili leta 1790 v mali vasici z imenom Strontian na Škotskem. Stroncij spada med zemljoalkalijske kovine. Ima 0,014 odstotni delež v zemeljski skorji in ga v naravi najdemo kot stroncijev karbonat SrCO_3 ali kot celestin SrSO_4 . Srebrno bela kovina kot vse zemljoalkalijske kovine hitro kemijsko reagira. Stroncij se uporablja kot nitrat pri izdelavi pirotehnike in izdelavi varnostnega stekla pred rentgenskimi žarki.

Element stroncij ima štiri stabilne izotope, ter 14 β^- in 12 β^+ izotope. Stabilni izotopi so Sr 84 (0,56 %), Sr 86 (9,86 %), Sr 87 (7 %) in Sr 88 (85,58 %). Pri razpadanju radioaktivnega Rb 87 se tla obogatijo s Sr 87, kar pripomore k določevanju starosti tal. Višje kot je razmerje Rb/Sr, starejša so tla (Holleman 1985).

Od 14 β^- sejalcev sta pomembna samo dva. To sta Sr 89 in Sr 90, ki nastaneta pri spontani cepitvi v neznatnih koncentracijah in v večjih koncentracijah pri jedrski fisiji. Razpolovna doba (postopno razpadanje) Sr 89 znaša 51 dni in razpade v stabilen Y 89. Sr 90 v času 29 let razpade v stabilen Y 90. Pri tem oddaja visoko sevalno energijo beta žarkov do 0,546 MeV. Razpolovna doba tega nukleotida znaša 64 ur (2,67 dni), kar je kratek čas in nastopi sekularno ravnotežje (aktivnosti vseh potomcev so enake). Zaradi nadzemnih jedrskih poizkusov in jedrskih nesreč kot je Černobil sta bila oba nukleotida porazdeljena po celotnem svetu. V relevantnih količinah je zaradi njegovih lastnosti mogoče zaznati samo Sr 90 (Bittner 1992).



Slika 1: Razpad Sr 90
(Vir: A. P. Vraber, 2018)

Po Mendelejevi klasifikaciji je stroncij kemijsko podoben kalciju. Tako preide v človeško telo z zaužitjem vode in hrane, manjši delež pa lahko tudi s pomočjo prašnih delcev. Po zaužitju dvajset do trideset odstotkov Sr 90 absorbira gastrointestinalni trakt, ostali delež se izloči z urinom ali fekalijami. Od absorbiranega dela se 99 % Sr 90 odloži v okostje. Biološki razpolovni čas Sr 90 v telesu je od 3 do 20 let. Razpolovni čas je odvisen od starosti, telesnih značilnosti, prehrane in načina življenja. Sr 90 je poznan pod imenom »bone seeker«. Radioaktiven stroncij z emisijami visokoenergetskih elektronov škodi v kosteh in tkivu, še posebej kostnemu mozgu. Poleg tega kosti shranjujejo koncentriran stroncij na določenih mestih, podobno kot se radioaktiven jod kopiči v ščitnici (Aarkrog 1979).

Ker se radioaktiven stroncij kopiči v kosteh, lahko nastopijo poškodbe kosti ali mehkega tkiva (tkivo, ki povezuje, obdaja ali daje oporo), kar posledično vpliva na kostni mozeg. Kostni mozeg je najpomembnejši vir rdečih krvnih celic, ki se ob visoki koncentraciji Sr 90 razgradijo. Z zmanjšanjem rdečih krvnih celic se pojavi anemija (slabokrvnost), ki povzroča prekomerno utrujenost in zmanjšanje odpornosti telesa.

Sr 90 se uporablja v medicini kot radioaktivni sledilnik in v termoelektričnih napravah, vgrajenih v majhne napajalne naprave, ki se uporabljajo za navigacijski signal. Prav tako se uporablja za zdravljenje očesnih bolezni (Aarkrog 1979).

2.1 Vloga kalcija in kje se nahaja v telesu

Tako kot je apno potrebno za močan beton, je kalcij potreben za močne kosti. Kalcij se nenehno odlaga v kostne celice, ki delujejo kot cement za kostnino.

Mladostniki potrebujejo zadostne količine kalcija, saj se okostje razvija do 25. leta starosti. Ko oseba doseže polno rast, je kalcij potreben za stabilizacijo in obnavljanje okostja. Obstajajo pa tudi obdobja, ko se potreba po kalciju poveča (med nosečnostjo, laktacijo ...). Zadostna koncentracija kalcija omogoča delovanje nekaterih organov. Po zaužitju se kalcij nahaja v črevesju oziroma želodcu. V primeru, da je koncentracija kalcija previsoka ali prenizka, črevesje absorbira več oziroma manj kalcija. Kostni so tretja točka kalcija v telesu. Če ga s prehrano ne dobimo dovolj, lahko telo porabi določene količine zaloge iz kosti, vendar je ponavljanje procesa omejeno. Če telo nadaljuje z odvzemanjem kalcija iz kostne banke, lahko oseba zboli za osteoporozo (Ganzenmüller 1974).

Paratiroidni hormon ohranja pravilno koncentracijo kalcija in nadzoruje vse aktivnosti kalcija v telesu. Ob padcu koncentracije ta hormon spodbudi vitamin D k povečani absorpciji kalcija iz črevesja in ga hkrati sprosti iz kostne banke (Ganzenmüller 1974).

3. Izpostavljenost človeka sevanju

Za ugotavljanje možnih negativnih vplivov ionizirajočega sevanja na prebivalstvo ali določene skupine prebivalstva je treba oceniti izpostavljenost sevanju. Prehod nukleotidov iz ozračja na zemeljsko površje ni obvezen, lahko poteka skozi floro. Nato sledi izpostavljenost preko tal ali hrano. Izpostavljenost lahko razdelimo glede na naravne in umetne vire sevanja. Naravna izpostavljenost človeka izhaja iz zemeljskega sevanja, kozmičnega sevanja, koncentracije vdihanega urana in količine zaužitih radionuklidov. Umetna izpostavljanja izhajajo iz medicine in industrije. (Neu idr. 2010).

Preglednica 1: Sestava naravne izpostavljenosti sevanju

Vir izpostavljenosti	EC50 * (mSv a ⁻¹)
Kozmično sevanje	0,3
Zemeljsko sevanje	0,4
Količina zaužitih radionuklidov	0,3
Koncentracija vdihanega radona	1,1
Skupna koncentracija naravnega sevanja	2,1

(Vir: Neu idr. 2010, str. 18)

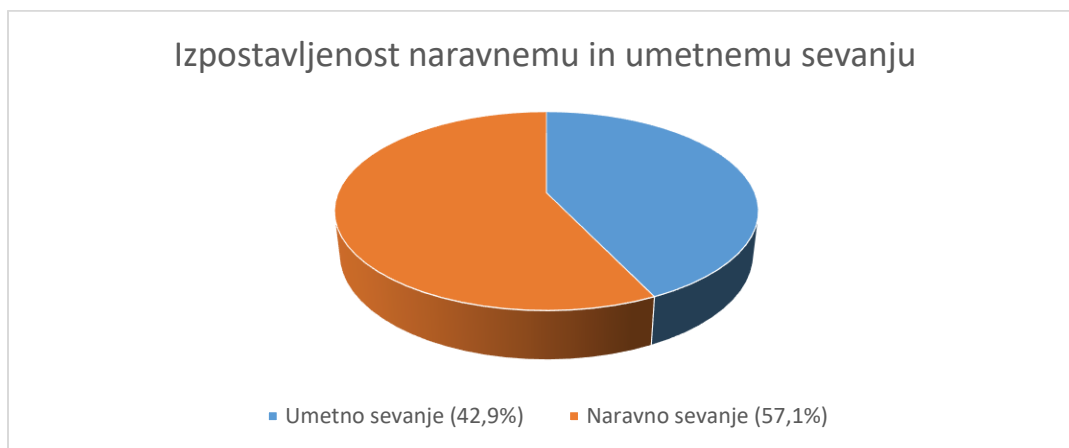
* vrednost, kjer koncentracija snovi pokaže učinek, ki povzroči 50 % maksimalnega odziva.

3.1 Naravno sevanje

Zunanjo plast atmosfere doseže mešanica kozmičnega in sončnega sevanja, pri čemer prevladuje kozmično sevanje. Kozmično sevanje je sestavljeno iz protonov, ki se izražajo v MeV. V interakciji z atomi iz atmosfere nastanejo sekundarni delci fotoni, elektroni, pozitroni, nevtroni in mioni. Vrednost tega kozmičnega sevanja je odvisna od geografske višine in niha od 0,3 mSv a⁻¹ na višini morske gladine do 2 mSv a⁻¹ na 4000 m nadmorske višine. Efektivna doza kozmičnega sevanja niha skozi letne cikle sonca okoli 10 %. Glavni delež naravnega sevanja izvira iz razpada radionuklidov (torij, uran, kalij 40), ki so na podlagi svojega razpolovnega časa še danes prisotni. K 40 je odgovoren za 1 % argona v zraku skozi razpad beta. Največji delež predstavlja radon s svojimi izotopi. Njegovi glavni trije izotopi so Rn 222, Rn 220 in Rn 219. Poseben je izotop Rn 222 z razpolovnim časom 3,8 dni, ki nastane pri razpadu radionuklida U 238. Zaradi konvektivnih transportnih procesov preide iz tal v atmosfero. Pri razpadu nastanejo alfa delci, ki se z dihanjem odlagajo v pljučih in s tem povečujejo letni EC50. Vdihavanje radona je v zadnjih letih bilo korigirano iz 1,4 mSv a⁻¹ na 1,1 mSv a⁻¹ (Neu idr. 2010).

3.2 Umetno sevanje

Izpostavljenost umetnemu sevanju je večinoma prisotna v zdravstvu. Število rentgenskih pregledov se letno povečuje, še posebej število računalniških mamografij. Povprečen EC50 v Evropi znaša 2 mSv. Koncentracije so individualno različne, saj so odvisne od števila pregledov. Drugi viri sevanja, kot so jedrske elektrarne ali gorenje fosilnih goriv, so v območju nekaj μ Sv in so torej zanemarljivi (Neu idr. 2010).



Graf 1: Izpostavljenost naravnemu in umetnemu sevanju

Preglednica 2: Naravno in umetno sevanje

Naravno sevanje	Umetno sevanje
Kozmično sevanje 8,0 %	Medicinsko sevanje 41,1 %
Vdihavanje radona 27,1 %	Posledice jedrskih nesreč 0,6 %
Zunanje sevanje 14,0 %	Jedrske elektrarne (normalno obratovanje) 0,3 %
Zemeljsko sevanje 8,0 %	Jedrski poizkusi 0,3 %
	Ostala umetna sevanja 0,6 %

(Vir: Neu idr. 2010, str. 8)

3.3 Radioaktivne snovi v okolju in bioakumulacija

Radioaktivnost je lastnost atomskih jeder, atome radioaktivnih snovi imenujemo radionuklidi in jih delimo v tri skupine.

- Primordialni radionuklidi

Nastali so ob nastanku vesolja. Imajo veliko atomsko maso in so dolgoživi, njihov razpolovni čas lahko znaša tudi več milijonov ali celo sto milijonov let. Primeri: uran 238, uran 235, torij 232 in kalij 40 (Bunzl 1996).

- Kozmogeni radionuklidi

Nastanejo, ko kozmični žarki vplivajo na atome v Zemljinem ozračju. To so lažji elementi z manjšo atomsko maso in nekoliko krajšimi razpolovnimi časi, na primer ogljik 14 (Bunzl 1996).

- Antropogeni radionuklidi

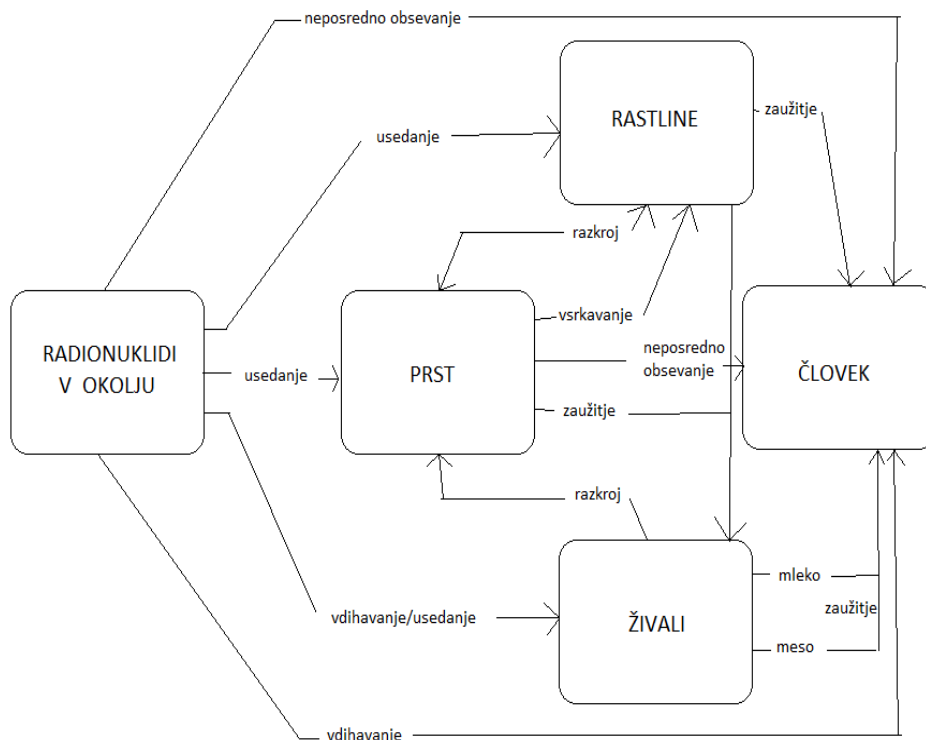
Nastanejo zaradi človekovih dejavnosti, na primer v jedrskih elektrarnah in zaradi uporabe jedrskega orožja kot posledica onesnaževanja okolja ob jedrskih poskusih, možen vir pa so tudi jedrski reaktorji. So zelo raznoliki in v naravi redki. To so cezij 137, stroncij 90 in jod 131. Povsod na Zemlji naletimo na radioaktivne snovi, kar pomeni, da ni prostora, kjer ne bi bili izpostavljeni ionizirajočemu sevanju. Za sevanje, prisotno v okolju, uporabljamo izraz sevanje naravnega ozadja in znaša na Zemlji povprečno 2,4 mSv/leto (Bunzl 1996).

Preglednica 3: Koncentracija sevanja naravnega ozadja

Država	Sevanje naravnega ozadja
Japonska	1,7 mSv/leto
Francija	1,8–3,5 mSv/leto
ZDA	2,6 mSv/leto
Švedska	2,5–2,8 mSv/leto
Slovenija	3,9 mSv/leto
Indija	13 mSv/leto
Svetovno povprečje	2,4 mSv/leto

(Vir: Botsch 1999, str. 5)

Radionuklidi s hrano, vodo ali vdihanim zrakom preidejo v notranjost telesa in v njem tudi ostanejo. Rastline, ki iz ogljikovega dioksida, vode in svetlobe sintetizirajo sladkor, v sladkor vgradijo tudi ogljikov dioksid, ki vsebuje radioaktivni ogljik 14 namesto neradioaktivnega ogljika 12. Žival ali človek, ki zaužije rastlino s hrano dobil manjše količine ogljika 14 in žival ali človek, ki poje žival, prevzame ogljik 14. Tako se dogaja z radionuklidi, ki pridejo v okolje zaradi človekove dejavnosti (Bunzl, 1996).



Slika 2: Bioakumulacija radionuklidov
(Vir: A. P. Vraber, 2018)

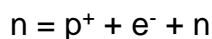
Ob zaužitju radionuklidov postane organizem vir sevanja. Povprečna aktivnost človeka oziroma radionuklidov v njegovem telesu znaša 8000–10.000 Bq. Koncentracija v človeku je odvisna tudi od razpadne energije elementa. To je energija, ki se sprošča pri radioaktivnem razpadu. Razpadna energija stroncija 90 znaša 0,546 MeV (Bunzl 1996).

3.4 Razpad beta

Razpad beta je radioaktivni razpad, pri katerem atomsko jedro izseva delec beta. Interakcija med okoljem in sevanjem beta je zelo skromna. Beta delec, ki ima vrednost 3 MeV, ima razpon okrog 10 m. Odklon beta delcev pri trku z elektroni lupine atomov je večji kot na primer pri alfa delcih, zato se beta delci gibljejo v cikcaku. Kot absorbent za sevanje beta se uporabljajo lahki elementi, kot je aluminij. Zaradi nizkega razpona sevanja v trdih snoveh zadostuje pridržati sevanje pri varnostnih ukrepih (Lieser 1991).

3.4.1 Razpad beta (β^-)

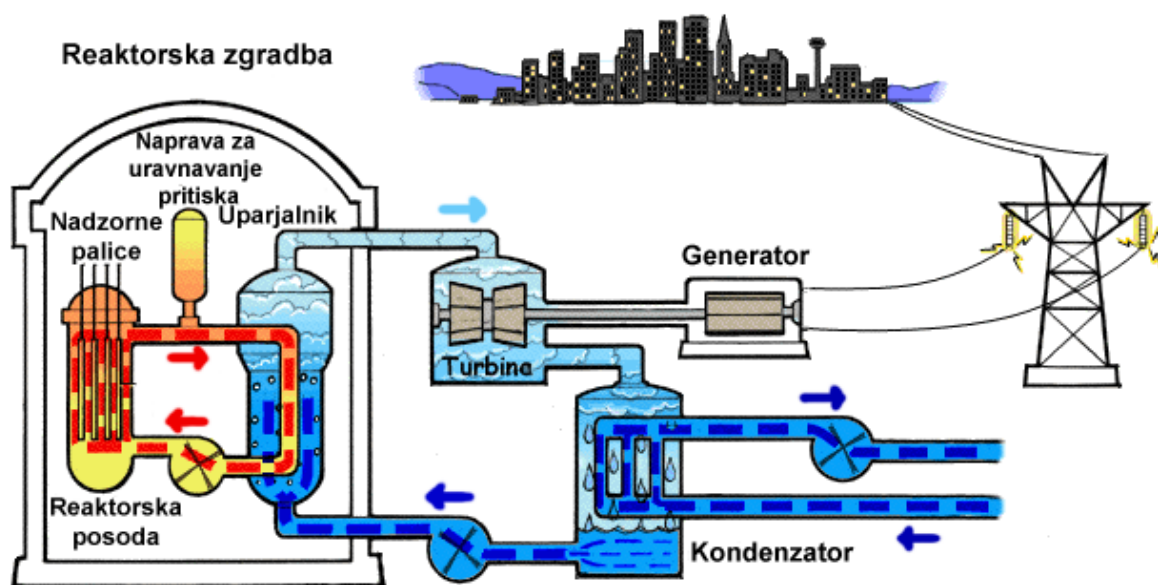
Razpad beta (β^-) temelji na pretvorbi nevtrona v jedru v proton, elektron in antinevtron.



Proton ostane v jedru, tako da masno število ostane enako. Elektron in antinevtron zapustita atom. Kinetični energiji obeh in s tem njuna hitrost izhajajo iz razlike v energiji propadanja (Lieser 1991).

4. Delovanje tlačnovodnega reaktorja PWR (Pressurized Water Reactor)

Tlačnovodni reaktor je vrsta jedrskega reaktorja, ki uporablja vodo za hladilno sredstev. V reaktorski posodi se hladilna voda nahaja pod tlakom (158-kratna vrednost atmosferskega tlaka), zato se ne more upariti. Do uparjanja hladilne vode pride v uparjalniku, kjer skozi razne cevi pride do izmenjave toplote. Črpalke skozi cevi poganjajo primarno reaktorsko hladilo, ki svojo toploto oddaja sekundarnemu hladilu, ki kroži okoli cevi uparjanja. Sekundarno hladilo se segreva in uparja. Turbina se poganja s pomočjo pare, ki se po koncu dela kondenzira v kondenzatorju in se nato vrača v uparjalnik. Pri tlačnovodnem reaktorju sta primarni in sekundarni krog ločena (USP 1981).



Slika 3: Tlačnovodna jedrska elektrarna

(Vir: https://sl.wikipedia.org/wiki/Tla%C4%8Dnovodni_reaktor#/media/File:PressurizedWaterReactor_sl.png)

4.1 Zagon reaktorja

Reaktorske črpalke so vklopljene najprej, da se zaradi trenja segreje reaktorsko hladilo in uparjalnik doseže delovno temperaturo. S tlačnikom dvignejo tlak in temperaturo vode v primarnem krogu in reaktorski posodi. Svežnje za zaustavitev počasi popolnoma izvlečejo iz posode, da se začne verižna reakcija. Z dviganjem regulacijskih svežnjev večajo moč reaktorja in v uparjalniku začne nastajati para. Para se dovaja neposredno v kondenzator, dokler reaktor ne doseže 5 % moči. Ko reaktor doseže med 5 % in 10 % moči, začnejo dovajati paro na turbino, električni generator pa priključijo na električno omrežje. Postopoma moč reaktorja in turbine večajo, pri 100 % moči se nekaj čez 30 % toplotne energije spremeni v električno (USP 1981).

5. Jedrske nesreče

Obratovanje jedrskih reaktorjev predstavlja varnostno tveganje. Skozi zgodovino so se pripetile različne jedrske nesreče, ki so imele velik vpliv na onesnaženost okolja in današnje mišljenje o delovanju jedrskih elektrarn.

5.1 Jedrska elektrarna Černobil

26. 4. 1986 se je pripetila nesreča v četrtem bloku jedrske elektrarne Černobil. Černobil se nahaja v današnji Ukrajini, 100 km severno od ukrajinske prestolnice Kijev. Za delavce objekta se je 3 km severno od elektrarne, ob reki Pripyat, ustvarilo mesto z imenom Pripyat. Ime elektrarne izhaja iz večjega mesta Černobil, od elektrarne oddaljenega 12 km. Pokrajina okrog elektrarne je sestavljena iz gozdnih, močvirnih in travnih območij, z manjšimi vasmi v bližini. Gostota prebivalstva se giblje okrog 70 prebivalcev na kvadratni kilometer.

Nesreča reaktorja se je pripetila zaradi poizkusa, kjer so testirali sistem hlajenja jedra pri popolnem električnem izpadu. Po načrtu bi električni generatorji potrebovali 35 sekund, da sistem ponovno zaženejo z električno energijo. V teoriji bi v tem času hladilne črpalke poganjala energija, nastala pri zaustavljanju generatorjev turbin. Prvotno bi morala izvedba tega testa biti rutinsko opravljena pred začetkom delovanja bloka 4, vendar je bil pregled prestavljen na 26. 4. 1986 zaradi novoletne zabave.

Pri testu je treba moč reaktorja zmanjšati iz 36 % na 22 %. Če bi moč padla pod 22 %, bi reaktor postal nestabilen in težko nadzorovan. Nato bi morale zaustavljajoče turbine ustvariti energijo, ki poganja glavne črpalke za hlajenje. Hladilne črpalke v sili so bile izklopljene, da se ne bi med poizkusom vklopile. Vendar so nastopila odstopanja pri izvedbi testa (Bayer idr. 1996).

Preglednica 4: Jedrska katastrofa Černobil

25. 4. 1986	Priprave na test
01:06	Začetek zmanjšanja moči.
13:05	Moč reaktorja pri 50 %.
14:00	Izklop zasilnih hladilnih črpalk. Nadaljnje zmanjšanje moči reaktorja na zahtevo distributerja iz Kijeva. Zasilne črpalke kljub temu izklopljene.
23:10	Zmanjšanje moči reaktorja se nadaljuje.

26. 4. 1986	
00:05	Moč reaktorja pri 22.6 %.
00:28	Reaktorska moč doseže 16 %. Nadzorni sistem reaktorske moči je bil preklopljen na avtomatski način. Zaradi operativne napake pade moč reaktorja nenadzorovano pod 5 %. Hitri upad se je pospeševal zaradi kolapsa parnih mehurčkov v jedru.
00:32	Operater poskuša moč reaktorja povečati z dvigom kontrolnih palic. Zaradi zastrupitve s ksenonom se proces povečavanja reaktorske moči oteži. Verjetno se je poskušalo dvigniti večje število kontrolnih palic, kot je predpisano pri operativnih

	pravilih. Hitra in varna zaustavitev reaktorja v tem trenutku ni več možna.
01:00	Moč reaktorja se zmanjša na 7 %.
01:03	Priklop dodatne hladilne črpalke, z namenom povečati jedrski pretok. Povečan jedrski pretok povzroči nadalje kolapse parnih mehurčkov v jedru.
01:07	Priklop dodatne črpalke vzporedno s krogotokom. Zaradi nizke vsebnosti parnih mehurčkov v jedru se zmanjša hidravlični upor v hladilnem krogu. Poveča se tok hladilnega sredstva v jedru. Ker je hladilno sredstvo podhlajeno, se ne tvorijo novi parni mehurčki.
01:15	Zaščitne naprave za nadzor nivoja v zbiralnikih se ročno onemogočijo, da je možno nadaljnje obratovanje.
01:18	Upravljevec poveča pretok dovodne vode. Donos hladne vode ohladi reaktorsko hladilno sredstvo.
01:19	Da bi povečali moč reaktorja, so kontrolne palice ročno dvignjene iz jedra. V tem trenutku je preostalo 8 kontrolnih palic, ki se lahko dvignejo manualno. Po obratovalnih predpisih mora število rezervnih palic znašati 15.
01:22	Raven v zbiralnikih se normalizira. Dotok hladne vode se zmanjša, kar povzroči naraščanje temperature pri jedru. Poveča se tvorba parnih mehurčkov.
01:22:30	Zaradi majhnega števila kontrolnih palic v jedru se bi morala elektrarna v tem trenutku izklopiti. To se ni zgodilo.

	Začetek testa
01:23:04	Turbinski ventili se zaprejo. Običajno bi temu sledila avtomatska zaustavitev reaktorja, vendar je bil avtomatski izklop onemogočen s strani operativnega osebja, da bi omogočili nadaljnje delovanje sistema.
01:23:10	Krmilne palice se zaradi izklopa turbin avtomatsko dvignejo iz jedra. Hitrost hladilnih črpal se zmanjša.
01:23:21	Proizvodnja parnih mehurčkov v jedru se dvigne do kritične točke.
01:23:35	Nastopi kritična točka.
01:23:40	Operator opazi naraščanje zmogljivosti in sproži hitro zaustavitev reaktorja. Spust krmilnih palic od zgoraj premakne središče energije v spodnji del jedra.

01:23:44	Reaktor je v trenutku v kritičnem stanju, moč reaktorja je 100-krat večja od načrtovane vrednosti.
01:23:45	Pride do poškodbe jedra, gorivo reagira s hladilnim sredstvom. Tlak v jedru močno narašča. Reaktorska moč doseže 440-krat večjo vrednost od načrtovane.
01:23:48	Sledijo eksplozije parnih mehurčkov, kar 1000-tonski reaktorski pokrov dvigne in zavrti za 90 stopinj. Cevovodi, povezani s pokrovom, se odtrgajo. Reaktor je uničen.
Sledi	Zrak pride v stik z jedrom. V reakciji z grafitnim moderatorjem nastane vnetljiv CO. Nastopi reakcija med cirkonijem in vodo, ki sprosti vodikov plin. Plini se vnamejo. Žareči delci eksplodirajo iz uničenega jedra in povzročijo približno 30 nadaljnjih požarov. Od približno 140 ton jedrskega goriva se 8 ton razprši po bližnjem terenu. V popoldanskih urah naslednjega dne se začne evakuacija v bližnjem mestu Pripjat. Prebivalstvo ni obveščeno o razlogu zanjo. Splošni zaščitni ukrepi (zaužitje jodovih tablet ali iskanje varnih prostorov) niso izpolnjeni.

(Vir: NEA 2002)

Razlogi za katastrofo so različni. Od neznanja o reaktorju do kombinacije človeških spodrslijajev in tehničnih napak.

5.1.1 Vrsta reaktorja

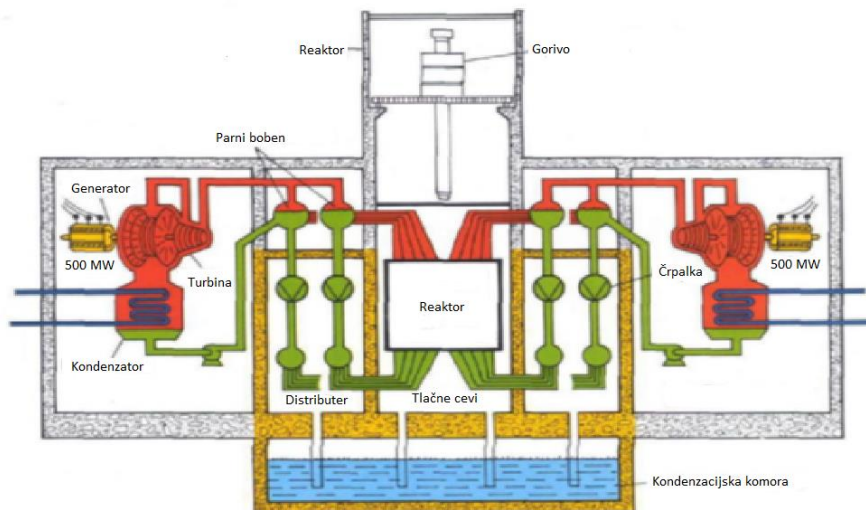
Med časom jedrske katastrofe je območje pripadalo Sovjetski zvezi. Jedrski program Sovjetske zveze je obsegal dve vrsti reaktorjev:

- WWER – Water Water Energetic Reactor
- RBMK – High Power Channel type Reactor

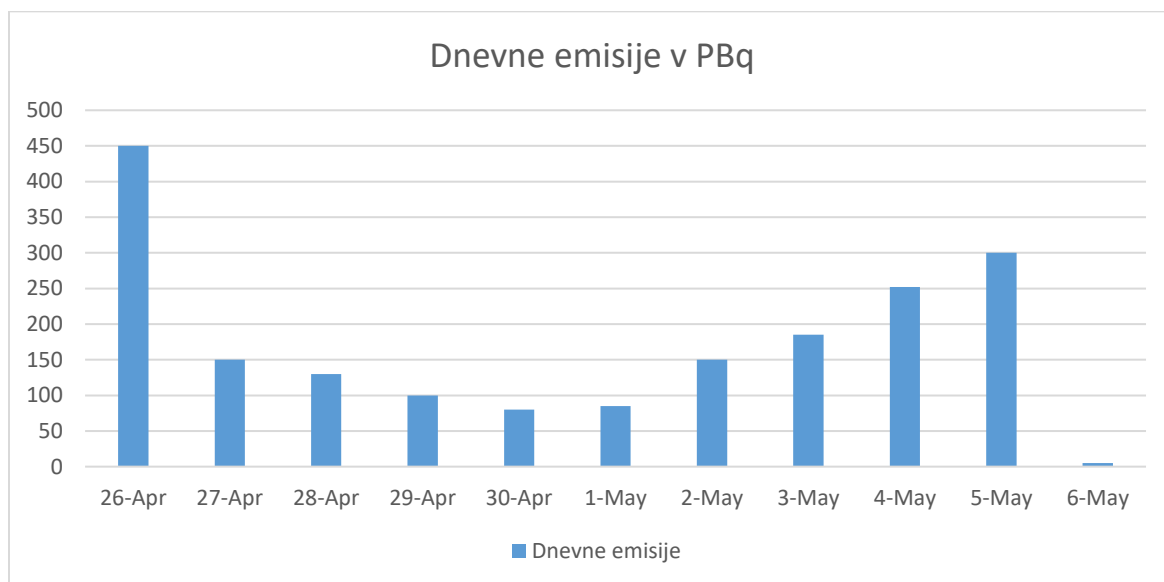
Ob katastrofi so delovali 4 bloki z reaktorjem tipa RBMK z obratovalno močjo 1000 MW. Dva dodatna reaktorja sta bila v gradnji in bi morala začeti delovati leta 1986 in 1988. Če ne bi prišlo do jedrske katastrofe, ki je ustavila gradnjo, bi bil Černobil s 6 bloki največji evropski energetski kompleks. Drugi blok je bil zaprt leta 1991 po požaru, prvi blok pa leta 1996 po popolni preiskavi o tehničnih sposobnostih. Zadnji reaktorski blok 3 je proizvajal električno energijo do 15. 12. 2000, ko je bil zaprt zaradi političnega pritiska s strani zahodne Evrope (Bayer idr. 1996).

5.1.2 Reaktor RBMK

Je dvonamenski reaktor, ker se hkrati s proizvodnjo energije v njem pridobiva plutonij, ki je primeren za izdelavo atomskih bomb. Grajen je bil samo v Sovjetski zvezi in je energetsko zastarel. Gradnja teh reaktorjev se je ustavila in zaradi mednarodnega pritiska je predvidena zaustavitev vseh reaktorjev tega tipa (Jenčič 2007).



Slika 4: Zgradnja reaktorja iz Černobila
(Vir: A. P. Vraber, 2018)



Graf 2: Dnevne emisije v času jedrske katastrofe

Preglednica 5: Izpust radionuklidov kot posledica nesreče

Radionuklid	Razpolovni čas	Popis aktivnosti pred 26.4.1986 v PBq	Izpust v PBq	Izpust v % od popisa
Žlahtni plini				
Kr 85	10,70 let	33	33	100
Xe 133	5,25 dni	6500	6500	100
Hlapni elementi				
Te 132	3,26 dni	4200	1150	27
I 131	8,04 dni	3200	1760	55
I 132	2,30 ur	4200	1040	25
I 133	20,80 ur	4800	910	19
I 135	6,61 ur	2900	250	9
Cs 134	2,06 let	150	54	36
Cs 137	30 let	260	85	33
Vmesni elementi				
Sr 89	50,50 dni	3960	115	3
Sr 90	28,50 let	220	10	5
Ru 103	39,30 dni	3770	168	4
Ru 106	368 dni	860	73	8
Ba 140	12,7 dni	6070	240	4

(Vir: NEA, 2002)

5.2 Jedrska elektrarna Fukušima Daiči

Fukušima je mesto, ki je od Tokia oddaljeno 250 km. Ima 290.866 prebivalcev in skupno površino 746,43 km² (CPF 2018).

5.2.1 Potres in izguba energije

Velik potres ob vzhodni obali Japonske se je zgodil 11. marca 2011 ob 14:46 po japonskem standardnem času. Vzrok potresa je bil nenaden izpust energije ob premiku tektonskih plošč. Pacifiška plošča se je narinila na severnoameriško tektonsko ploščo. Glavni šok z magnitudo 9,0 je trajal več kot dve minuti, nato so sledili manjši impulzi. Ta potres je bil med največjimi zabeleženimi potresi na pacifiški tektonski plošči (TEPCO 2012).



Slika 5: Epicenter velikega potresa in jedrske elektrarne v bližini obale (Vir: NASA, 2016)

Jedrska elektrarna Fukušima Daiči je sestavljena iz šestih tlačnovodnih jedrskih reaktorjev. Ob času potresa so delovali trije reaktorji s polno močjo, ostali trije so bili zaprti zaradi oskrbe z gorivom.

Reaktorji enot 1–3 so bili samodejno zaustavljeni ob vklopu varnostnih senzorjev za zaznavanje gibanja tal. Sprožili so se zaščitni sistemi v skladu z načrtom. To samodejno delovanje je doseglo nadzor nad reaktivnostjo.

Kljub zaustavitvi reaktor proizvaja toploto (toplota nastane pri razpadanju jeder). Jedrsko gorivo bi bilo treba ohladiti, da se prepreči pregrevanje. Ohlajanje goriva poteka s pomočjo hladilnih sistemov, ki potrebujejo električno energijo za obratovanje. Ob potresu je prišlo do električnega izpada in vklopili so se zasilni dizelski generatorji, ki dovajajo električno energijo do enot.

Enote 1–3 so bile avtomatsko izolirane od turbinskega sistema zaradi električnega izpada, kar je zaradi razpadne toplote povzročilo narast temperature in tlaka v reaktorjih. Hlajenje reaktorjev, ki so bili izolirani od turbinskega sistema (enote 1–3), je bilo izvedeno, kot je opisano v nadaljevanju (TEPCO 2012).

- Enota 1:

Ob povečevanju pritiska v reaktorju sta avtomatsko začela delovati izolacijska kondenzatorja in hladila reaktor. Delovanje obeh kondenzatorjev je zmanjšalo temperaturo in pritisk v reaktorju do stopnje, da so operaterji ročno ustavili kondenzatorja. Ustavila sta se v skladu s predpisi, da se je preprečila toplotna obremenitev reaktorske posode. Nato so operaterji uporabljali en kondenzator za nadzor hitrosti hlajenja (TEPCO 2012).

- Enoti 2 in 3:

Ob povečanju pritiska so se avtomatsko sprožili varnostni ventili, ki so bili zasnovani za zaščito reaktorja pred previsokim tlakom. Ti ventili spuščajo paro iz reaktorske posode. To je povzročilo zmanjšanje nivoja reaktorske vode. Nato so operaterji ročno vklopili hladilni sistem.

Prav tako je bilo treba obravnavati toploto v enotah 4 – 6 (TEPCO 2012).

- Enoti 4 in 5:

V času potresa je bil tlak v teh dveh enotah konstanten s pomočjo tlačnih črpalk. Ob izpadu električne energije so črpalke prenehale delovati. Tlak se je začel povečevati zaradi razpada jeder, vendar je za razliko od enot 2 in 3 tlak ostal pod ravnmi za aktiviranje varnostnih ventilov (TEPCO 2012).

- Enota 6:

V enoti 6 je bil tlak na nivoju atmosferskega tlaka in temperatura goriva sobne temperature, kar pomeni, da je razpadna temperatura zelo nizka (TEPCO 2012).

5.2.2 Cunami

Poleg gibanja tal je potres povzročil premik ogromne količine vode, čemur je sledil cunami. Cunami je val na morski gladini ali skupina takšnih valov, ki nastanejo zaradi potresa, zdrsa zemeljskih tal, vulkanskega delovanja ali padca meteorita v morje ali blizu morja. Ko ti valovi dosežejo obalo, imajo uničujoč učinek na širokem območju.

Valovi cunamiji so dosegli jedrsko elektrarno Fukušima približno 40 minut po potresu. Lokacija elektrarne je bila varovana z zaščitnim zidom, ki je varoval objekte pred valovi do višine 5,5 m. Prvi valovi, ki so dosegli objekt, so segali 5 m v višino in niso ogrožali varnosti. Približno 10 minut po prvem valu je sledil drugi in največji val, ki je segal do 15 m v višino. Val je z lahkoto presekel varnostni zid in poplavljal območje. To je zajemalo vso strukturo in opremo, ki se je nahajala ob obali, in tudi glavni objekt (vključno z reaktorjem, turbino in servisne stavbe), kar je povzročilo zaporedje naslednjih dogodkov:

- Val je poplavljal obalo in poškodoval črpalke in motorje, ki so črpali morsko vodo. To pomeni, da so pomembne funkcije (hladilni sistemi v sili – dizelski generatorji) in deli elektrarne ostali brez hlajenja, ki je zagotavljalo njihovo neprekinjeno delovanje.
- Poplavljeni in poškodovani sta bili shrambi ob enotah 1 in 6. Gorivo, ki je bilo shranjeno v teh skladiščih, ni bilo poškodovano oziroma nanj ni bilo pomembnega vpliva.
- Voda je poplavlila reaktorje, turbinske prostore, skupno skladišče izrabljenega goriva in prostore dizelskih generatorjev. Poškodovan je bil ves objekt na spodnjih nivojih, kar je onemogočilo električno in mehansko opremo. Poškodovani dizelski generatorji v sili so povzročili izgubo napajalne napetosti. Samo en z zrakom hlajen dizelski generator v enoti 6 je ostal v obratovanju in še naprej zagotavljal napajanje električne energije. S tem so delovali varnostni sistemi in omogočalo se je hlajenje reaktorja.

Kot rezultat teh dogodkov so enote od 1 do 5 ostale brez električne energije in nastopila je situacija, imenovana »station blackout« oziroma popolni izpad električne energije.

Začetek gradnje jedrske elektrarne Fukušima Daiči je bil leta 1967. Tako kot druge elektrarne, grajene v tem času, je bila zasnovana tako, da je glede na kapaciteto baterij v reaktorskih enotah vzdrževala popolni izpad električne energije do 8 ur (TEPCO 2012).

➤ Izgube električne energije v enotah 1, 2 in 4:

Vse enote v jedrski elektrarni Fukušima so bile opremljene z zasilnimi baterijami. V enotah 1, 2 in 4 je bila zaradi poplav izgubljena električna energija v prvih 15 minutah, kar je oteževalo obvladovanje postaje. Zaradi izpada energije operaterji enot 1 in 2 niso bili sposobni spremljati reaktorskih parametrov (reaktorski tlak, nivo vode v reaktorju in hlajenje jeder). Kot že zgoraj napisano, je sposobnost nadzora toplote v vseh enotah izpadla zaradi izgube električne energije. Dodatna izguba baterij v enotah 1, 2 in 4 je pomenila, da operaterji niso mogli več spremljati temperature in nivoja vode v bazenih izrabljenega goriva.

V scenariju, kjer nastopijo popolni izpad električne energije ter nefunkcionalnost generatorjev in baterij, so bili upravljalci enot 1, 2 in 4 premalo pripravljeni. Upravljalci niso imeli posebnih navodil, kako ravnati pri popolnem izpadu električne energije pod takšnimi pogoji. Operaterji in upravitelji za nujne primere so začeli iskati alternativne načine, kako pridobiti energijo in s tem ponovno dobiti nadzor nad elektrarno (TEPCO 2012).

➤ Odgovor v enotah 3, 5 in 6:

Enote 3, 5 in 6 so ohranile električno energijo, kar je operaterjem omogočilo, da so s pomočjo kontrolne sobe opazovali stanje reaktorjev in pravilno ravnali v situaciji, ki je nastopila.

- V enoti 3 so se varnostni ventili samodejno odprli, da se je zaščitila reaktorska posoda pred visokim tlakom. Operaterji so ročno ponovno zagnali hladilni sistem za jedro reaktorja. S pomočjo varnostnih baterij so nadzorovali in spremljali količino vode, vbrizgane v reaktor. Prav tako so izklopili nepotrebno opremo, da bi povečali razpoložljivost baterij..
- Varnostne baterije so bile dostopne v enoti 5. Reaktor ni proizvajal pare, zato preostala toplota ni mogla biti odstranjena z visokotlačnim hladilnim sistemom. Alternativne možnosti za odstranjevanje toplote in pritiska niso bile uspešne. Reaktorska posoda je ostala pod tlakom in napolnjena z vodo ter se še naprej segrevala.
- Enota 6 ni zaznala izpada električne energije, ker je bil na voljo dizelski generator v sili. Pri enoti so se osredotočili na vzdrževanje osnovnih varnostnih funkcij. Tlak v reaktorju je bil na atmosferskem nivoju, kar je omogočalo uporabo sistemov za injiciranje hladne vode. Deli enote so bili poplavljeni in pri tem poškodovani (TEPCO 2012).

5.2.3 Izpusti

Jedrski nesreča je povzročila sproščanje radionuklidov v okolje. Večina atmosferskega izpusta je bila s pomočjo vetra odpihana vzhodno proti Tihemu oceanu. Ocena o količini in vrsti radioaktivne snovi je negotova zaradi pomanjkanja podatkov o odlaganju izpustov. Spremembe v smeri vetra so pomenile, da se je relativno majhni del atmosferskega izpusta odložil na kopnem. Prisotnost in aktivnost radionuklidov v okolju se je spremljalo. Opravil se je monitoring okolja. Merjenje aktivnosti radionuklidov v okolju je predstavljalo izjemen izziv. Sčasoma se aktivnost radionuklidov zmanjša zaradi fizičnega razpada, okoljskih transportnih procesov in čistilnih dejavnosti. Poleg atmosferskega vstopa v morje so radionuklidi vstopali v morje tudi neposredno preko tekočega izpusta. Radionuklidi so bili sproščeni in najdeni v pitni vodi, hrani in splošnem okolju (MEXT 2012).

Žlahtni plini so predstavljali pomemben del zgodnjih izpustov.

Preglednica 6: Koncentracija izpuščenih žlahtnih plinov

Xe 133	6.000 – 12.000 PBq
Cs 137	7 – 20 PBq
I 131	100 – 400 PBq

(Vir: MEXT, 2012)

Količina izpuščenih snovi znaša desetino izpustov iz jedrske katastrofe v Černobilu. Večina izpustov je bila razpršena po severnem delu Tihega oceana. Obstajali so neposredni izpusti in tudi odvajanja v morje. Najvišji radioaktivni izpust je bil zmerjen aprila 2011 (MEXT 2012).

Preglednica 7: Izpusti izmerjeni aprila 2011

Cs 137	2,3–26,9 PBq
I 131	10 – 20 PBq

(Vir: MEXT, 2012)

- Izpust stroncija

Ob informiranju javnosti o izpustih pri jedrski katastrofi Fukušima so dostopna poročila o posledicah sproščenega radioaktivnega joda in cezija. Informacije o Sr 89 in Sr 90 so zelo skromne in nepoznane, čeprav je radioaktivni stroncij posebej nevaren. Poročila razpoložljivih podatkov o radioaktivnem stronciju so skrb vzbujajoča. Čedalje več neodvisnih publikacij dokazuje znatne koncentracije radioaktivnega stroncija v ozračju, podtalnici, oceanu, tleh in rastlinah (Paulitz 2015).

- Izpusti v ozračje:

Japonska vlada je že junija 2011 poročala o izpustih stroncijevih izotopov. Enoti 1 in 3 sta v prvih dveh mesecih jedrske nesreče v okolje izpustili $2,0 \times 10^{15}$ Bq Sr 89 in $1,4 \times 10^{14}$ Bq Sr 90. Skupna količina sproščenega radioaktivnega stroncija pri jedrski katastrofi Fukušima znaša $2,1 \times 10^{15}$ oziroma 2,1 PBq. Študije, ki raziskujejo koncentracije Sr 90 v Pacifiku, dokazujejo njegov obstoj v morju (Paulitz 2015).

- Obremenitev tal in rastlin:

Podatki dokazujejo, da znatne koncentracije stroncija niso bile samo izpuščene, ampak so tudi povzročile kontaminacije. Izven 30-kilometerskega evakuacijskega območja so v zbranih vzorcih rastlin zasledili znatne koncentracije stroncija. Koncentracije Sr 89 so nihale od 12 do 61 Bq/kg ter koncentracije Sr 90 od 1,8 do 5,9 Bq/kg (Paulitz 2015).

Preglednica 8: Izpusti stroncija 90

Vrsta vzorca	Lokacija vzorčenja	Koordinate (N, E)	Datum vzorčenja	Razdalja do poškodovanih reaktorjev (km)	Sr 90 (Bq/g)
Talni	Glavni vhod Fukušima 1	37.417158,141.024714	21. 12. 2011	0,88	1,07
Rastlinski	Glavni vhod Fukušima 1	37.417158,141.024714	21. 12. 2011	0,88	1,14
Prstni	1,5 km od Fukušime 1	37.417746,141.016817	21. 12. 2011	1,5	0,303
Rastlinski	1,5 km od Fukušime 1	37.417746,141.016817	21. 12. 2011	1,5	0,388
Prstni	1,9 km od Fukušime 1	37.417635,141.012247	21. 12. 2011	1,9	0,0318
Rastlinski	1,9 km od Fukušime 1	37.417635,141.012247	21. 12. 2011	1,9	0,448
Prstni	4,3 km od Fukušime 1	37.388743,141.008309	21. 12. 2011	4,3	0,232
Rastlinski	4,3 km od Fukušime 1	37.388743,141.008309	21. 12. 2011	4,3	0,253
Prstni	Fukušima 2 JE	37.314889,141.014156	21. 12. 2011	12	0,268
Rastlinski	Fukušima 2 JE	37.388743,141.008309	21. 12. 2011	12	0,0909
Prstni	Sendai	38.269,140.869	20. 7. 2011	95	< 0,003
Prstni	Kashiwa	35.880008,139.98574	26. 10. 2011	195	0,035
Prstni	Yokohama	35.54,139.63	25. 7. 2011	244	0,085
Prstni	Yokohama	35.54,139.63	25. 7. 2011	244	0,0041

(Vir: Paulitz, 2015)

Iz tabele je razvidno, da vrednost Sr 90 v vzorcih tal mesta Kashiwa, ki je od jedrske elektrarne Fukušima oddaljeno 195 km, znaša 35 Bq/kg. 244 km od Fukušime se nahaja metropola Yokohama, kjer so junija 2011 izmerili koncentracijo Sr 90 do 85 Bq/kg.

- Kontaminacija s stroncijem v bližini elektrarne

Po poročilu UNSCEAR se je radioaktivni stroncij sproščal v okolje do eno leto po jedrski katastrofi. Posledično so koncentracije Sr 90 do 10.000-krat višje kot dan pred jedrsko katastrofo. Ob glavnem vhodu reaktorja se je izmerilo vrednosti Sr 90 do 1070 Bq/kg. Te meritve so izjemno pomembne za delavce, ki sanirajo območje po nesreči (Hirose 2012).

- Vodni izpusti:

Pri počenju cevi, ki so bile namenjene hladilnemu tokokrogu elektrarne, se je voda izlila iz cevi. Dodatno so se v programu zasilnega hlajenja reaktorjev ogromne količine vode od zunaj spustile v reaktor, kar je povečalo končno količino uporabljene vode. Zaradi puščanja reaktorja so se te količine vode sprostile v zunanost. Japonski organ za jedrsko reguliranje NISA je poročal, da je v vzorcu podzemne vode (iz 2. reaktorja), odvzetem 18. 5. 2011, koncentracija Sr 89 19.000 Bq/l in Sr 90 63.000 Bq/l. Še leta 2014 je TEPCO predstavil rezultate vodnega vzorca z iste lokacije. Koncentracije Sr 90 so znašale do 5.000.000 Bq/l. Po poročanju NIRS-a se je do leta 2017 zaradi jedrske katastrofe izpustilo 2,2 PBq radioaktivnega stroncija v Pacifik. Dodatnih 8,6 PBq radioaktivnega stroncija se nahaja v stoječih vodah, delih reaktorja in podzemnih tunelih. Podatki NIRS-a so dokaj vprašljivi. Izpust radioaktivnega stroncija v zrak so ocenili na 0,139 PBq. Druge ustanove, ki niso povezane z japonsko vlado, so to vrednost ocenile na 2,1 PBq (Hirose 2012).

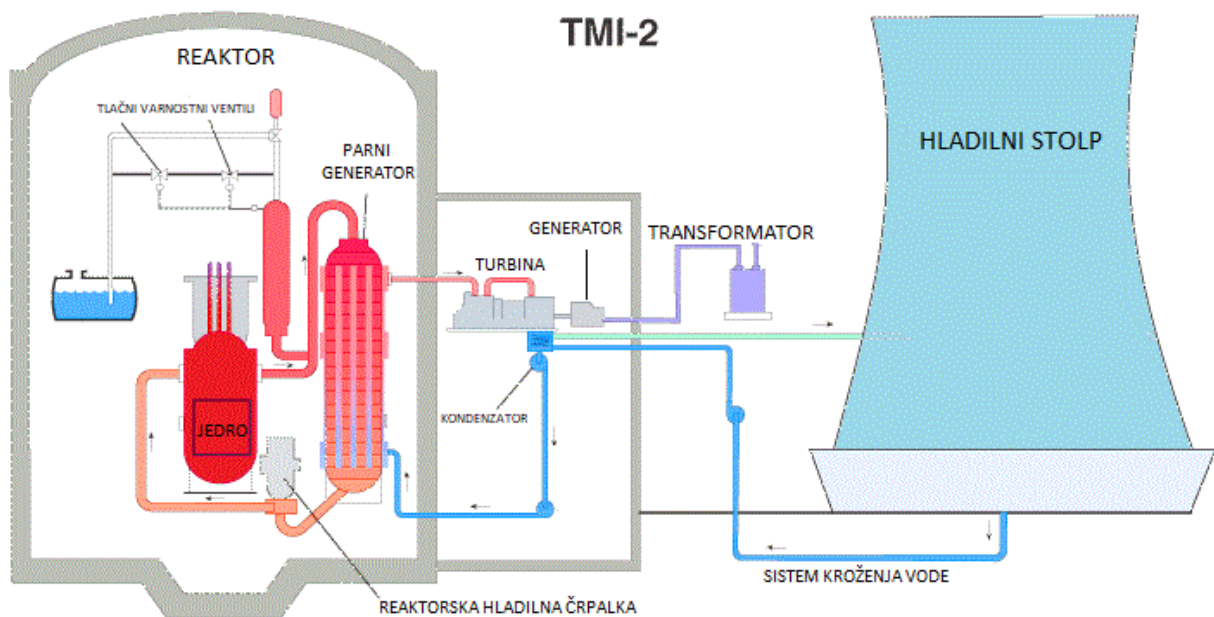
5.3 Jedrska elektrarna Otok treh milj

Jedrska elektrarna Otok treh milj se nahaja na istoimenskem otoku ob reki Susquehanna v Pensilvaniji, ZDA. Nuklearna je obsegala dva reaktorja, TMI-1 in TMI-2. Po najhujši nuklearni nesreči v zgodovini ZDA se je TMI-2 umaknil iz sistema. Tako danes samostojno obratuje TMI-1. Katastrofa se je pričela v sredo, 28. marca 1979, ob 10. uri zjutraj. V reaktorju TMI-2 je prišlo do mehanske ali električne napake v vodnem sistemu. Zaradi te napake voda ni mogla nadaljevati svoje poti do parnega generatorja, ki odstranjuje toploto iz jedra reaktorja. Napaka je povzročila samodejno zaustavitev najprej generatorjev in nato samega reaktorja. Pritisk v primarnem sistemu se je takoj začel dvigovati. Za možen nadzor pritiska v primarnem sistemu so se odprli tlačni varnostni ventili. Ti ventili se ob ustrezni ravni pritiska avtomatsko zaprejo, vendar so se zataknili in ostali odprti. Instrumenti v nadzornem prostoru pa so osebju kazali, da so bili zaprti. Posledično se osebje elektrarne ni zavedalo, da se je hladilna tekočina izlivala iz odprtega ventila. Ob iztekanju hladilne tekočine iz primarnega sistema skozi ventile so drugi instrumenti v nadzornem prostoru dajali napačne informacije. Ni bilo ustreznega instrumenta, ki bi pokazal količino hladilne tekočine v jedru, oziroma ali je jedro potopljeno v hladilno tekočino. Osebje je domnevalo, da bo jedro pokrito s hladilno tekočino, dokler je nivo pritiska vode v reaktorju stabilen. Ko so zazvonili alarmi in se sprožile opozorilne luči, operaterji niso vedeli, da elektrarna izgublja hladilno tekočino. Operaterji so izvedli vrsto ukrepov, ki so poslabšali razmere. Hladilna tekočina, ki je uhajala iz ventilov, je pritisk v primarnem sistemu zmanjšala do stopnje, da so se morale izklopiti črpalke za hladilno tekočino. S tem so se preprečile nevarne vibracije, ki bi lahko poškodovale ves reaktor. Omejena je bila količina hladilne tekočine, črpane v primarni sistem, da se je lahko kontroliral pritisk. Ti ukrepi so porabili skoraj vso hladilno tekočino, kar je povzročilo pregrevanje jedra reaktorja. Brez ustreznega pretoka hladilne tekočine se je jedrsko gorivo segrelo do točke, da se je stopila cirkonijeva obloga in se je jedro začelo topiti. Kasneje je bilo ugotovljeno, da se je približno polovica jedra stopila v zgodnjih fazah nesreče.

Čeprav je TMI-2 utrpel hudo jedrsko taljenje, kar predstavlja največjo nevarnost pri obratovanju jedrske elektrarne, so bile posledice izven elektrarne minimalne. V nasprotju z nesrečama v Černobilu in Fukušimi je zadrževalna stavba TMI-2 ostala nedotaknjena in zadržala skoraj ves radioaktivni material.

V sledečih mesecih po nesreči so se pojavila vprašanja o morebitnih škodljivih učinkih sevanja na ljudi, rastline in živali. Na tisoče vzorcev zraka, vode, mleka, vegetacije, zemlje in živil je bilo pregledanih s strani različnih vladnih organizacij. Ugotovljene so bile minimalne posledice in zelo nizka raven radionuklidov.

Katastrofo je povzročila kombinacija človeških napak, pomanjkljivosti pri izgradnji in okvar komponent (U.S. NRC 2018).



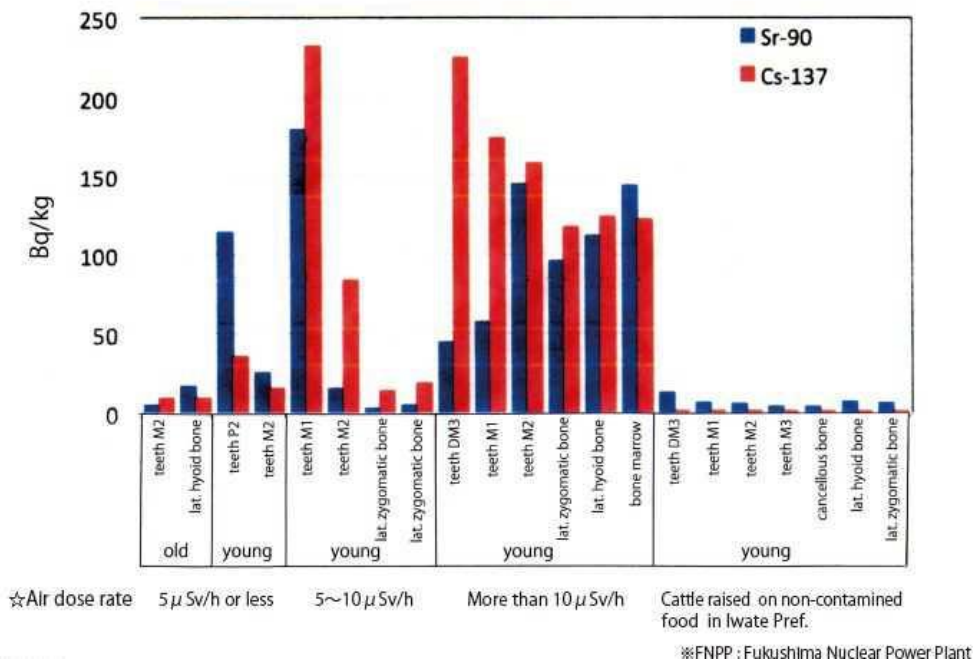
Slika 6: Reaktor TMI-2

(Vir: U.S. NRC <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/3mile-isle.html>)

6. Pregled tujih raziskav v izbranih okolijskih vzorcih

6.1 Primerjava koncentracije stroncija 90 v govedu v okolici jedrske elektrarne Fukušima

Sr-90 and Cs-137 Concentrations in Cattle's Teeth and Bones in the Evacuation Zone of FNPP^(*)



Slika 7: Koncentracije Sr 90 in Cs 137 v kosteh goveda

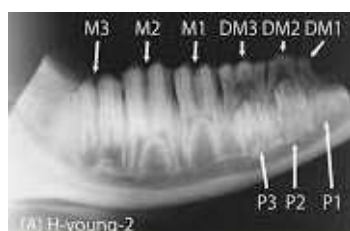
(Vir: http://www.hahainc.jp/english/sample/img/graph/ushi_big.pdf)

Graf primerja koncentracije Sr 90 in Cs 137 v govedu, ki se je nahajalo v evakuacijskem območju, z govedom, ki je bilo vzrejeno izven evakuacijskega območja. Primerki so razdeljeni na starost, vrste zobovja in okostja ter čas zadrževanja v evakuacijskem območju. Pri tem pomeni »hyoid bone« podjezičnica, »zygomatic bone« ličnica in »cancellous bone« kostno tkivo (Shun'ich 2012).



Slika 8 : Zobje odraslega goveda

(Vir: <https://www.nature.com/articles/srep24077>)



Slika 9 : Zobje mladega goveda

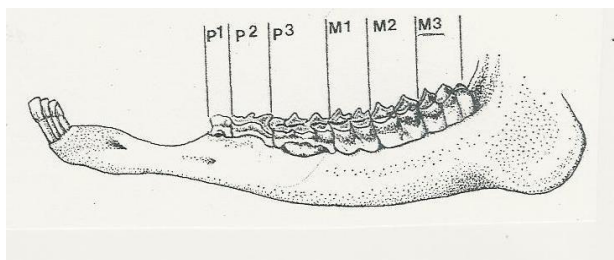
(Vir: <https://www.nature.com/articles/srep24077>)

6.2 Koncentracija stroncija 90 v spodnjem delu čeljusti pri jelenu

Jeleni so zaradi svojih prehrabnih navad in pogostosti v naravi dober bioindikator, zato so bili izbrani za to raziskavo. Izbrano je bilo kostno tkivo spodnje čeljusti, ker so bili na voljo vzorci pred nesrečo reaktorja. Koncentracija Sr 90, ki se kopiči v kosteh, je odvisna od vsebnosti mineralov in koncentracije Sr 90 v rastlinah, ki jih je žival zaužila. Presnova mineralov je odvisna od starosti osebkov. Po rojstvu je najvišja in z leti upada. Posledično je koncentracija Sr 90 v kosteh manjša ali večja. Ker imajo kostna tkiva različen mineralni metabolizem, je koncentracija Sr 90 neenakomerno porazdeljena v okostju. Koncentracije se razlikujejo tudi glede kontaminacije habitata (Fielitz 1987).

- Priprava vzorca

Spodnji del čeljusti se očisti preostalega tkiva in maščobe. Razreže se na približno 1-centimetrske dele, ki se posušijo in zmeljejo. Vzorec se je segrel do 400 °C z namenom, da postane pepel. S precipitacijami se je odstranilo kalcij, radij, barij in ione z valenco 3. Nato se je ločil Y 90 in zmes je mirovala 7 dni. V tem času je Sr 90 ustvaril Y 90 z radioaktivnim razpadom. Na začetku separacijskega procesa se je zmesi dodal naravni stroncij kot izotopski nosilec, da bi se ugotovilo izgubo med preiskavami. Merjenje aktivnosti beta Y 90 je bilo opravljeno s pomočjo Geigerjevega števca. Najnižja meja je znašala 0,01 Bq. Po merjenju aktivnosti Y 90 je bila aktivnost Sr 90 izračunana na podlagi aktivnosti Y 90 (Fielitz 1987).



Slika 10 : Spodnja čeljust jelena

(Vir: https://www.researchgate.net/figure/fig-The-left-half-of-the-lower-jaw-of-roe-deer-at-the-age-of-1-year-The-important_fig21_276059174)

V raziskavi so merili koncentracije Sr 90 pri 6 rastlinah, ki rastejo v habitatu jelenjadi.

Preglednica 9: Koncentracije Sr 90 in Cs 137 v rastlinah

Vrsta rastline	Sr 90 (Bq/kg)	Cs 137 (Bq/kg)	Razmerje Cs 137/Sr 90
<i>Dryopteris carthusiana</i> (praprotn)	82,2	26420	321
<i>Vaccinium myrtillus</i> (borovnica)	72,8	8730	111
<i>Athyrium filix femina</i> (navadna podborka)	68,7	11510	168
<i>Rubus fruticosus</i> (navadna robida)	43,2	5900	137
<i>Prenanthes purpurea</i> (Škrlatnordeča zajčica)	29,0	8190	282
<i>Rubus idaeus</i> (malinjak)	24,9	5500	221

(Vir: Fielitz, 1994)

Razlike v koncentraciji temeljijo na genskih spremembah pridobivanja obeh nukleotidov, kot je poznano za kalcij in kalij.

Preglednica 10: Koncentracije Sr 90 v vzorcih

Leto odstrela	Starost (leta)	Sr 90 (Bq) / pepela (g)	Ca (g) / pepel (g)	Sr 90 (Bq) / pepela (g)
1967	3	1,34	0,352	3,80 ± 0,08
1968	4	1,31	0,360	3,65 ± 0,07
1972	4	0,70	0,350	2,01 ± 0,07
1981	3	0,68	0,367	1,85 ± 0,05
1982	8	0,27	0,359	0,75 ± 0,06
1983	3	0,73	0,354	2,08 ± 0,09
1985	6	0,75	0,358	2,09 ± 0,08
1989	0,5	0,95	0,356	2,68 ± 0,11
1989	3	0,72	0,358	2,00 ± 0,09
1989	4	1,15	0,359	3,20 ± 0,09
1989	4	0,70	0,361	1,93 ± 0,06
1989	6	0,62	0,358	1,72 ± 0,08
1990	0,5	0,55	0,370	1,50 ± 0,05
1990	0,5	1,26	0,359	3,52 ± 0,10
1990	2	0,78	0,370	2,12 ± 0,06
1990	2	0,69	0,371	1,86 ± 0,07
1990	5	0,69	0,380	1,89 ± 0,05
1990	6	0,99	0,364	2,72 ± 0,07
1991	0,5	0,49	0,370	1,33 ± 0,04
1991	0,5	0,69	0,367	1,89 ± 0,06
1991	3	0,57	0,369	1,55 ± 0,06
1991	4	0,77	0,368	2,08 ± 0,08
1991	5	0,75	0,370	2,03 ± 0,05

(Vir: Fielitz, 1994)

6.3 Koncentracija stroncija 90 v mlečnih zobeh

RPHP (Radiation and Public Health Project) je opravila raziskavo, kjer pregledujejo radioaktiven nivo ljudi, ki živijo v bližini jedrskih elektrarn. Strokovno besedilo govori o raziskavi Sr 90 v mlečnih zobeh na območju Oyster Creek, New Jersey (Mangano 2013).

Mesto Oyster Creek se nahaja v Floridi, eni izmed 30 zveznih držav z jedrsko elektrarno. V mestu obratuje najstarejša jedrska elektrarna v ZDA. S svojo proizvodnjo energije je začela leta 1969 in ima dovoljenje za upravljanje do leta 2029. Lokacija, zgodovina rakavih obolenj in nenehno obratovanje pri 89-odstotni zmogljivosti reaktorja (povprečje v ZDA znaša 75 %) so glavni razlogi za raziskavo vplivov jedrske elektrarne.

Reaktor Oyster Creek spušča v zrak ogromne količine radioaktivnosti, več kot katerikoli trenutno delujoči reaktor v ZDA. Sproščajo se petkratne koncentracije, kot so se med nesrečo na Otoku treh milj, kar nakazuje na ogroženost zdravja prebivalstva v okolici (Mangano 2013).

Visoka verjetnost obolenja otrok za rakom:

- prisotnost raka pred 5. letom starosti je 31 % višja od povprečja v ZDA,
- umrljivost pred 10. letom starosti je od leta 1980 do leta 1990 narasla za 20 %,
- stopnja umrljivosti lokalnega prebivalstva zaradi raka presega državni in nacionalni nivo za 17 %.

Javnost se je pozvalo k prispevanju mlečnih zob. Zbralo se je 271 otroških zob, ki so bili testirani na Sr 90. Rezultati analize so sledeči:

- povprečna koncentracija Sr 90 v otroški zobeh iz okrožja Oyster Creek (Ocean City, Monmouth County) je 21 % višja kot v testiranih zobeh iz sosednih mest,
- med leti 1986–89 in 1994–97 so povprečne koncentracije Sr 90 v okrožju Oyster Creek stabilno naraščale do 50 %,
- trendi Sr 90 so podobni trendom smrti otrok pod 10 let (ki so zboleli za rakom).

Rezultati kažejo, da emisije reaktorja (brez vplivov jedrskih poizkusov v 50-ih in 60-ih) predstavljajo znaten delež radioaktivnosti v telesih lokalnih otrok, torej obstaja povezava med Sr 90 in pojavom raka pri otrocih v okrožju Oyster Creek.

Že desetletja so znanstveniki dokumentirali nevarnost razmeroma nizkih odmerkov radioaktivnosti, ki so sicer »varni«. Britanska zdravnica Alice Stewart je v 50-ih ugotovila, da rentgenski žarki med nosečnostjo skoraj podvojijo tveganje, da bo otrok zbolel za rakom do 10. leta. Leta 1997 je National Cancer Institute ocenil, da je 212.000 Američanov zbolelo za rakom na ščitnici kot posledica nadzemnih jedrskih poskusov v Nevadi. Leta 2000 je U.S. Department of Energy potrdil, da je tisoče zaposlenih, ki so sodelovali pri delu z atomskim orožjem, zbolelo za rakom (Mangano 2013).

6.3.1 Študija mlečnih zob RPHP »Tooth Fairy Project«

Je znanstveni raziskovalni projekt izveden v ZDA. S projektom se želi dokazati, da imajo majhne količine radioaktivnosti iz jedrskih elektrarn znaten vpliv na zdravje ljudi, ki živijo v bližini teh elektrarn.

Cilji raziskave so:

- ugotoviti koncentracije Sr 90 v mlečnih zobeh (vzorci so od otrok, ki so živeli v bližini jedrskih reaktorjev),
- primerjati količine Sr 90 med raziskovalnimi vzorci in vzorci rakavih bolnikov.

Glavne ugotovitve projekta so:

- količine Sr 90 pri otrocih so podobne otrokom, rojenih v poznih 50-ih (takratni poizkusi jedrskega orožja);
- raven Sr 90 se je v 90-ih dvignila, kar nakazuje, da sedanji viri radioaktivnih emisij prispevajo k obremenitvi telesa. Ker Sr 90 nastane samo pri atomskih bombah in jedrskih reaktorjih, lahko sklepamo, da trenutne dvige koncentracije Sr 90 povzročajo jedrski reaktorji;
- v Suffolk County, New York, kjer je bilo pregledanih okrog 500 mlečnih zob, so ugotovili, da je trend Sr 90 skoraj identičen trendu otroškega raka, kar nakazuje na vzročno-posledični odnos.

Poročilo obravnava zdravstvena tveganja zaradi izpostavljenosti radioaktivnim izotopom iz časov poizkusov jedrskega orožja. Sestavljen je vzorec 85.000 mlečnih zob otrok, ki so živeli med leti bombnih testov.

ZDA so opravile 206 poizkusov jedrskega orožja, Sovjetska zveza pa 216. Samo šest največjih poizkusov, opravljenih v Sovjetski zvezi, je spustilo 136,9 megaton emisij ali 4000 bomb, uporabljenih pri bombardiranju Hirošime in Nagasakija. Zaradi ekstremnih poizkusov se je leta 1963 podpisal Sporazum o delni prepovedi izvajanja jedrskih preizkusov (»Partial Test Ban Treaty«), s katerim so se ustavili vsi obsežni poizkusi (Mangano 2013).

Glavni rezultati:

Opravili so meritve *in vivo* (izraža procese, ki potekajo v živem organizmu) Sr 90 za 97 vzorcev. Laboratorijski testi so dokumentirali znatno povišano koncentracijo Sr 90 (OR = 2,22) med tistimi, ki so umrli zaradi raka do 50. leta starosti, vendar znatno nižjo koncentracijo med preživelimi po raku (OR = 0,72). Od 97 vzeti vzorcev je preživel le 77 ljudi. Med preživelimi, ki so zboleli za kožnim rakom ali polipi, je bila povprečna koncentracija Sr 90 manjša kot pri ostalih, ki so zboleli za drugimi malignimi boleznimi. Ugotovitev povišane koncentracije Sr 90 pri osebah s smrtnim rakom podpira koncept, da *in vivo* radioaktivnost povečuje tveganje rakavih obolenj (Mangano 2013).

Starost smrti:

- 10–19 let = 2
- 20–29 let = 1
- 30–39 let = 3
- 40–49 let = 4

Med donatorji zob s smrtnim primerom raka so potomci zboleli za rakom na mehurju, rakom na debelem črevesju, rakom vezivnega/mehkega tkiva, rakom požiralnika, rakom na modih, levkemijo in Hodgkinovim limfomom. Tveganje za te bolezni se torej dviguje zaradi izpostavljenosti sevanju.

Koncentracija Sr 90 v zobeh je bila znatno manjša od vzorcev s smrtnim izidom. 50 od 77 preživelih je zbolelo za polipi ali kožnim rakom (Mangano 2013).

Starosti pri diagnozi raka:

- 10–19 let = 3
- 20–29 let = 2
- 30–39 let = 10
- 40–49 let = 35

Preglednica 11: Koncentracija Sr 90 v mestih ZDA in Kanade – sekalci otrok, rojenih leta 1957 (hranjeni iz steklenice)

Lokacija	Koncentracija Sr 90 (pCi Sr 90/g Ca)
Toronto	1,96
Michigan	2,47
Čikago	2,77
St. Louis	2,79
Vzhodni Teksas in New Orleans	3,43
Kalifornija	1,53
Povprečna koncentracija	2,5

(Vir: Mangano, 2013)

Preglednica 12: Živo rojeni na leto in koncentracija Sr 90 v sekalcih (v ZDA 1950-1969)

Leta	Živo rojeni v tisočih	Koncentracija Sr 90 (pCi)/Ca (g)	Leta	Živo rojeni v tisočih	Koncentracija Sr 90 (pCi)/Ca (g)
1950	3,632	0,2	1961	4,268	4,81
1951	3,82	0,3	1962	4,167	8,85
1952	3,913	0,36	1963	4,098	10,62
1953	3,965	0,54	1964	4,027	11,8
1954	4,078	1,04	1965	3,76	10,62
1955	4,104	2,21	1966	3,606	9,44
1956	4,218	2,26	1967	3,521	8,26
1957	4,308	2,56	1968	3,501	7,08
1958	4,255	5,9	1969	3,6	5,9
1959	4,295	8,26	Skupno	79,394	-
1960	4,258	4,81			

(Vir: Mangano, 2013)

7. Ugotavljane stroncija 90

- **Metoda tekočinske scintilacije**

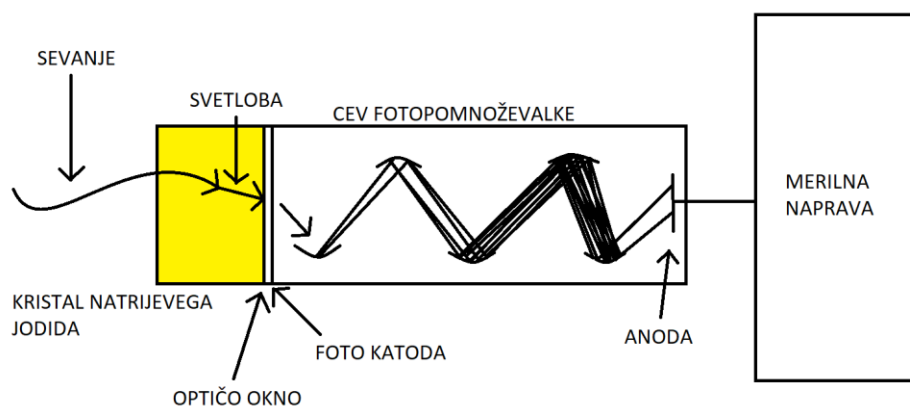
Tekočinska scintilacija je analitska tehnika, ki se uporablja za merjenje sevalne vrednosti vzorca, ki oddaja sevanje beta. Sr 90 pri razpadu oddaja 100 % žarke beta (Chin-Tzu idr. 1980).

- **Gama spektrometrija**

Je metoda za merjenje količine radioaktivnih snovi v vzorcu s štejem števila žarkov gama, ki jih izseva določen radionuklid. Aktivnost je število razpadov danega izotopa na časovno enoto. Aktivnost določa količina radioaktivne snovi. Enota za aktivnost je becquerel (Hari 2014).

- **Scintilacijski števec**

Scintilacijski števeci delujejo po principu pretvorbe kinetične energije delcev v svetlobni blisk. Takšne bliske (emitirani fotoni) instrument nato okrepi s pomočjo fotopomnoževalke in jih razvrsti po številu in njihovi energiji. Z različnimi scintilacijskimi materiali (natrijev jodid, cezijev jodid ...) dosežemo, da lahko zaznamo več vrst sevanja in njihove lastnosti. Scintilacijski instrument se uporablja za merjenje jakosti sevanja in tudi za merjenje energijskega spektra vpadnega sevanja, saj je število emitiranih fotonov proporcionalno z energijo, ki jo sevanje potroši v kristalu scintilacijskega števca (EBI 2018).



Slika 11: Scintilacijski števec

(Vir: <http://www.physics.isu.edu/radinf/naidetector.htm>)

7.1 Ugotavljanje stroncija 90 v tleh

Vzorec se raztopi v razredčeni dušikovi kislini in nekaj minut segreva do vrelišča. Stroncij se ekstrahira iz ohlajenega vzorca z raztopino (DC18K6, raztopljen v kloroformu). Nato se stroncij s pomočjo tekoče acetatne puferske raztopine spremeni v tekočo obliko. Moteči radioizotopi barija, svinca ali radija se odstranijo s pomočjo kromastega kemijskega obarjanja pri pH-ju 6,5. Dodatno se odstranijo naravni radionuklidi s hidroksilnim obarjanjem pri pH-ju 10. Stroncij oborimo iz alkalne raztopine kot karbonat in ga nanese na filter.

Za merjenje aktivnosti Sr 90 je oborina stroncijevega karbonata, zbrana na filtru, zadostna. Podstavek iz nerjavečega jekla ali umetne snovi se prelepi s folijo. Filter, ki vsebuje stroncijev karbonat, se postavi na sredino podstavka. Ravnanje s filtrom se lahko olajša z rahlo navlažitvijo z deionizirano vodo. Z dodatno folijo se poveže filter s podstavkom tako, da se tvori ravna površina merilnega pripravka.

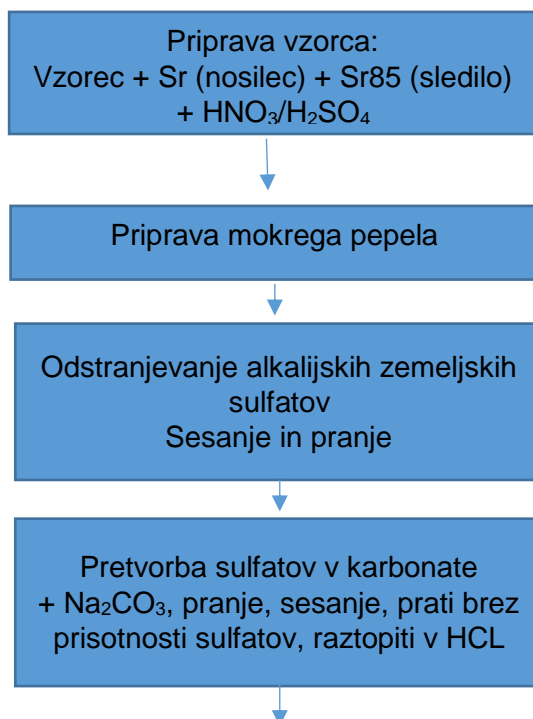
Določanje aktivnosti Sr 90 se izvede z zaznavanjem višjega energetskega sevanja beta elementa Y 90. Optimalno je zaradi radioaktivnega ravnovesja med Sr 90 in Y 90. Po pripravi čistega pripravka Sr 90 je aktivnost Y 90 po 14 dneh 97 % aktivnosti Sr 90 in po 19 dneh (kar ustreza sedmim razpolovnim časom) se vrednost poveča na več kot 99 %. Merjenje lahko opravljamo z Geigerjevim števcem. Trajanje meritve je odvisno od aktivnosti vzorca (Mewis 2004).

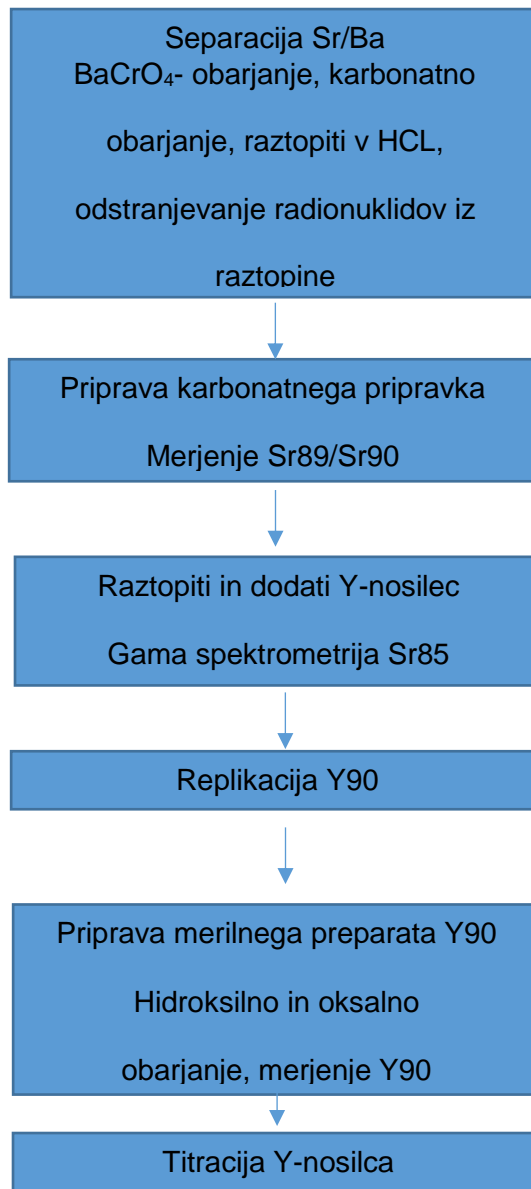
Enačba za določanje koncentracije Sr 90 v vzorcu (Mewis 2004):

$$a = f_2 \cdot \frac{\varphi_A}{\eta_{Sr} \cdot m_{TM}} \cdot R_n = e^{\lambda_{Sr-90} \cdot t_A} \cdot \frac{\varphi_A}{\eta_{Sr} \cdot m_{TM}} \cdot (R_b - R_0)$$

7.2 Ugotavljanje stroncija 90 v vodi:

Priprava vzorca za ugotavljanje Sr 90 v vodi:





Slika 12: Priprava vzorca

(Vir: https://www.fsev.org/fileadmin/user_upload/04_Arbeitsgruppen/13_Umweltueberwachung/02_Dokumente/Publikationen/_10_moderne_routine-_und_schnellmethoden_zur_bestimmung_von_sr-89_und_sr-90_bei_der_umwelt__berwachung_.pdf)

Enačba za določanje koncentracije Sr 90 v vodnem vzorcu (BMU 1994):

$$A_{\text{Sr-90}} = \frac{R_{\text{Sr-90}} \cdot \varphi_2}{\eta_{\text{Sr}}} \quad (\text{Bq})$$

7.3 Ugotavljanje stroncija 90 v hrani

Da bi zagotovili, da koncentracije Sr 90 v kmetijskih pridelkih in živilih, dostopnih v Sloveniji, ne ogrožajo zdravja prebivalstva, so analizirali vsebnost Sr 90 v raznih vrstah hrane. Vzeli so štiri vzorce morske hrane, en vzorec sladkovodnih rib (postrv), dva vzorca zelenjave (krompir in zelje), 4 vzorce živil za dojenčke (mleko v prahu, pšenični kosmiči, sadno mleko in materino mleko), en vzorec kokošjih jajc (rumenjaki in beljaki) in štiri vzorce mesa (goveje meso).

Mleko je pomemben del vsakdanje prehrane in je glavni prispevek k Sr 90, medtem ko so drugi vzorci del tipične prehrane. Ugotovljene stopnje koncentracije Sr 90 so bile primerjane z najvišjimi dovoljenimi stopnjami radioaktivne kontaminacije, določenimi v evropski zakonodaji (Repinc idr. 2014).

Preglednica 13: Najvišje dovoljene koncentracije Sr 90 v živilih

Izotop	Živila (Bq/kg)			
	Živila za dojenčke	Mlečni proizvod	Druga živila	Tekoča živila
Vstop izotopa Sr 90	75	125	750	125

(Vir: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0052&from=EN>)

Enačba za določevanje koncentracije stroncija 90 v živilih:

$$A(\text{Sr} - 90) = \frac{R}{60 * Y_{\text{Sr}} * (\eta_{\text{Sr-90}} + \eta_{\text{Y-90}} * (1 - e^{-h * t_d})) * m}$$

$$s(\text{Sr} - 90) = A(\text{Sr} - 90) * \left(\frac{1}{R^2} * \left(\frac{R^2_{s+b}}{t_s} + \frac{R^2_b}{t_b} \right) + s^2(Y_{\text{Sr-90}}) + \frac{s^2(\eta_{\text{Sr-90}}) + s^2(\eta_{\text{Y-90}})}{(\eta_{\text{Sr-90}} + \eta_{\text{Y-90}})} \right)^{1/2}$$

Preglednica 14: Koncentracija stroncija 90 v živilih

Vzorec		Masa vzorca (g)	Kemijski donos (%)	Sr 90 (Bq/kg)
Morska hrana	Zlato sivi mulet (<i>Liza aurata</i>)	173	81,4	0,05 ± 0,01
	Inčun (<i>Engraulis Angrasicolus</i>)	318	22,0	0,25 ± 0,02
	Orada (<i>Sparus auratus</i>)	314	43,8	0,03 ± 0,01
	Mediterska klapavica (<i>Mytilus Gallprovincialis</i>)	277	63,9	0,03 ± 0,01
Sladkovodna riba	Postrvi (<i>Salmonide</i>)	169	76,9	< 0,01
Meso	Govedina	302	69,7	0,01± 0,005
	Govedina	372	63,0	<0,01
	Govedina	299	69,3	<0,01
	Govedina	332	57,9	<0,01
Zelenjava	Krompir	622	70,7	< 0,01
	Zelje	766	22,0	0,4 ± 0,02
Živila za dojenčke	Mleko v prahu	52	54,6	0,90 ± 0,10
	Sadno mleko	71	46,9	0,15 ± 0,02
	Materino mleko	100	96,7	0,07 ± 0,01
	Pšenični kosmiči	51		0,90 ± 0,10
Jajce	Beljak	385	86,2	0,02 ± 0,01
	Rumenjak	170	77,0	0,05 ± 0,01

(Vir: Repinc idr., 2014)

Rezultati potrjujejo, da izbrani vzorci živil vsebujejo nizke koncentracije Sr 90 in ne ogrožajo zdravja prebivalstva (Repinc idr. 2014).

Pri jemanju vzorca moramo biti pozorni na:

Vzorci iz tal:

- globina vzorca,
- različne obremenitve tal s »starim« Sr (iz časov drugih katastrof in jedrskih poizkusov)
- kemijsko-mineralno-fizikalne lastnosti tal.

Vzorci iz trave, sadja, zelenjave in drugih rastlinskih živil:

- čas vzorčenje glede na gnojenje,
- prisotnost Sr in Cs v koreninah rastlin,
- koncentracija K in Ca,
- kemijsko-mineralne lastnosti tal na območju rastlin,
- različne obremenitve s »starim« Sr (iz časov drugih katastrof in jedrskih poizkusov).

Vzorci iz mlečnih izdelkov, rib in drugih živalskih živil:

- vnos Cs in Sr skozi krmo,
- delež stare krme, ki bi lahko vplivala na vzorčen material,
- različne obremenitve s »starim« Sr (iz časov drugih katastrof in jedrskih poizkusov),
- zgodovina in mesto izdelave krme,
- efekti pri obdelavi in pridelavi produkta,
- aditivi in drugi dodatki pri proizvodnji živil.

Kalibracijski faktor:

Multiplikacijski faktor, ki se uporablja za pridobitev ocenjene realne vrednosti iz izmerjene ali izračunane vrednosti.

Merilna negotovost:

Merilna negotovost je številski podatek, ki nam pove, kako kakovostno smo meritev izvedli (Mewis, 2004).

Enačba za izračun merilne negotovosti:

$$\frac{u(a)}{a} = \sqrt{\frac{1}{(R_b - R_0)^2} \cdot \left(\frac{R_b}{t_m} + \frac{R_0}{t_0} \right) + \left(u_{\text{rel}}^2(f_2) + u_{\text{rel}}^2(\varphi_A) + u_{\text{rel}}^2(\eta_{\text{Sr}}) + u_{\text{rel}}^2(m_{\text{TM}}) \right)}$$

8. Monitoring stroncija 90 v Sloveniji

V Sloveniji se opravlja monitoring Sr 90 od leta 1961 dalje. Monitoring se opravlja v različnih medijih. Najpogostejša so živila in pitna voda. Od leta 1961 do leta 2016 je bilo opravljenih 23.794 meritev (URSV 2018).

Izotop: Sr 90

Inštrument za meritev: Beta proporcionalni števec

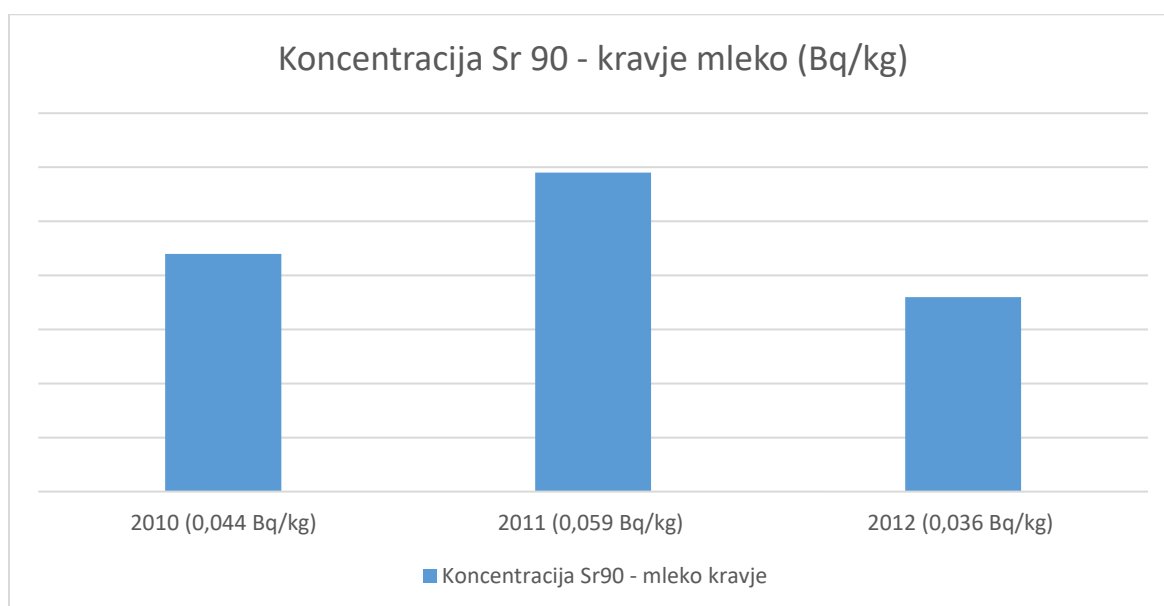
8.1 Ljubljana

Preglednica 15: Koncentracije Sr 90 v kravjem mleku v Ljubljani

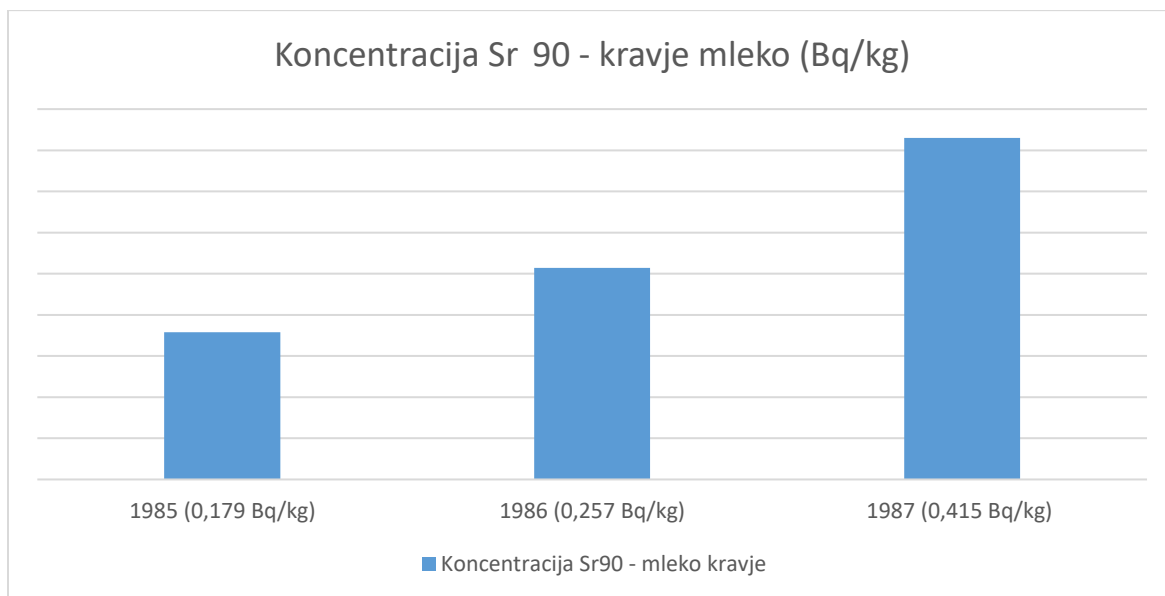
Leto	Vrednost (Bq/kg)
1980	0,307
1981	0,289
1982	0,243
1983	0,239
1984	0,178
1985	0,179
1986	0,257
1987	0,415
2010	0,044
2011	0,059
2012	0,036
2013	0,034
2014	0,030

(Vir: A. P. Vraber, 2018)

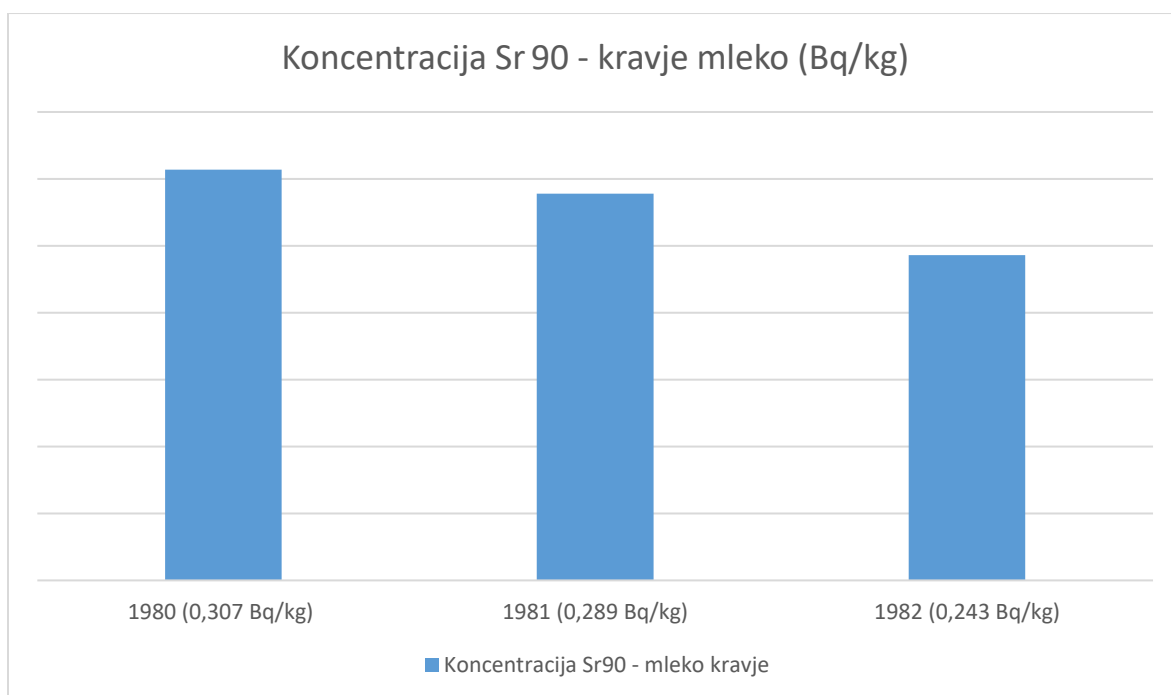
Koncentracije Sr 90 v kravjem mleku v Ljubljani nihajo. Najvišja koncentracija je bila izmerjena leta 1987, najnižja pa leta 2014. Posebnosti nastopijo okrog leta 1986 (černobilska nesreča) in leta 2011 (nesreča v Fukušimi), kot je razvidno iz grafov 3 in 4. Iz grafa 5 je razvidno, da je koncentracija Sr 90 okrog leta 1980 (delovanje Nuklearne elektrarne Krško) stabilna.



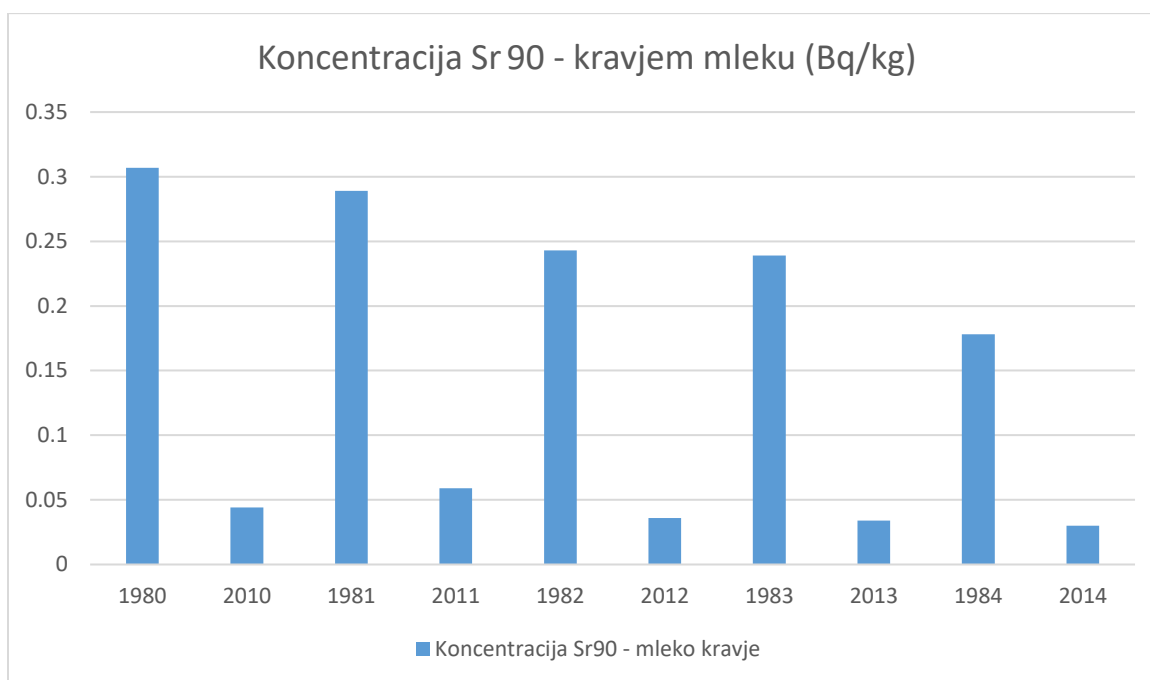
Graf 3: Primerjava koncentracije Sr 90 v kravjem mleku med leti 2010, 2011 in 2012



Graf 4: Primerjava koncentracije Sr 90 v kravjem mleku med leti 1985, 1986 in 1987



Graf 5: Primerjava koncentracije Sr 90 v kravjem mleku med leti 1980, 1981 in 1982



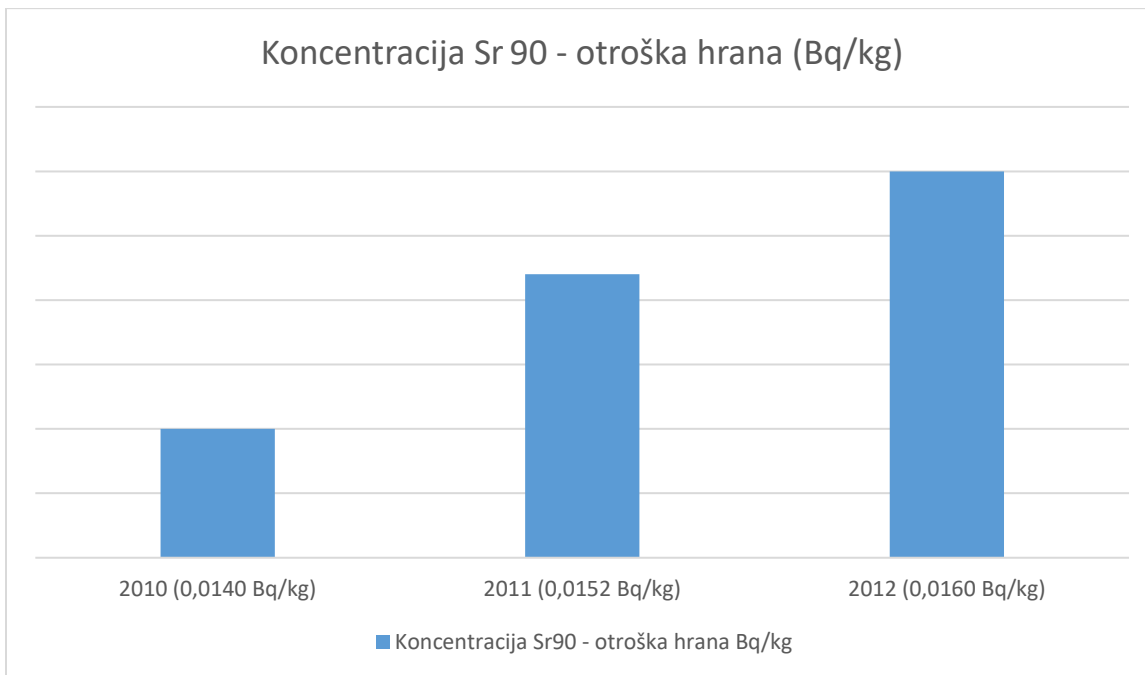
Graf 6: Primerjava koncentracije Sr 90 v kravjem mleku med leti 1980 - 1984 in 2010 – 2014

Preglednica 16: Koncentracije Sr 90 v otroški hrani v Ljubljani

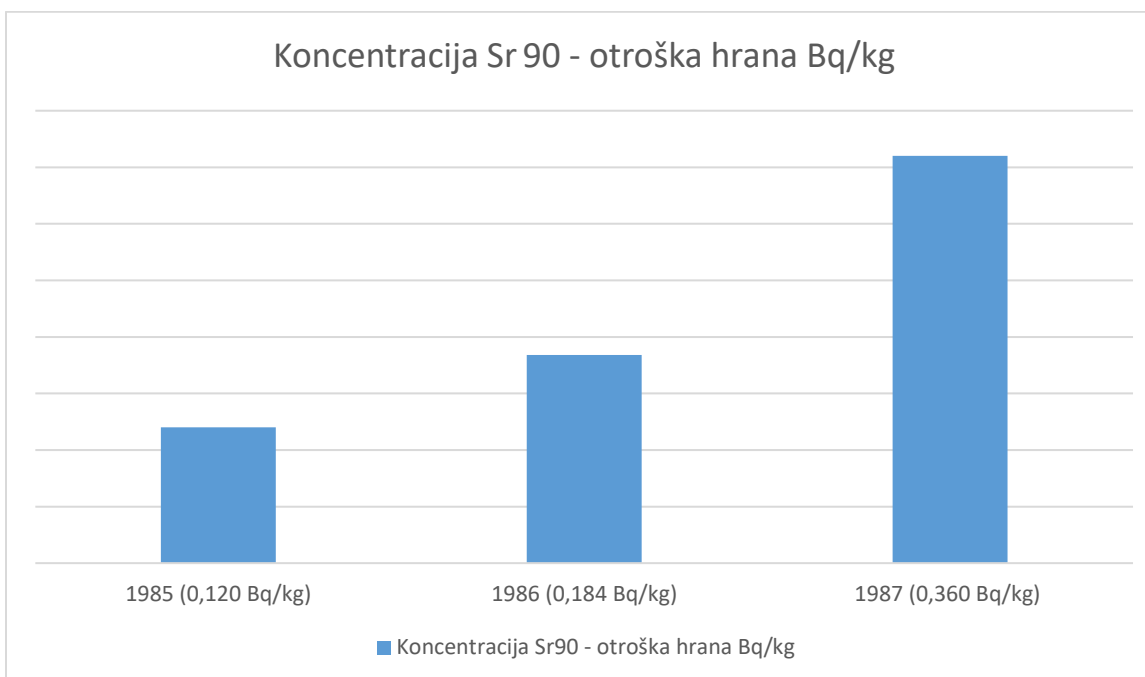
Leto	Vrednost (Bq/kg)
1980	0,176
1981	0,126
1982	0,131
1983	0,131
1984	0,126
1985	0,120
1986	0,184
1987	0,360
2010	0,0140
2011	0,0152
2012	0,0160
2013	0,0104
2014	0,0162

(Vir: A. P. Vraber, 2018)

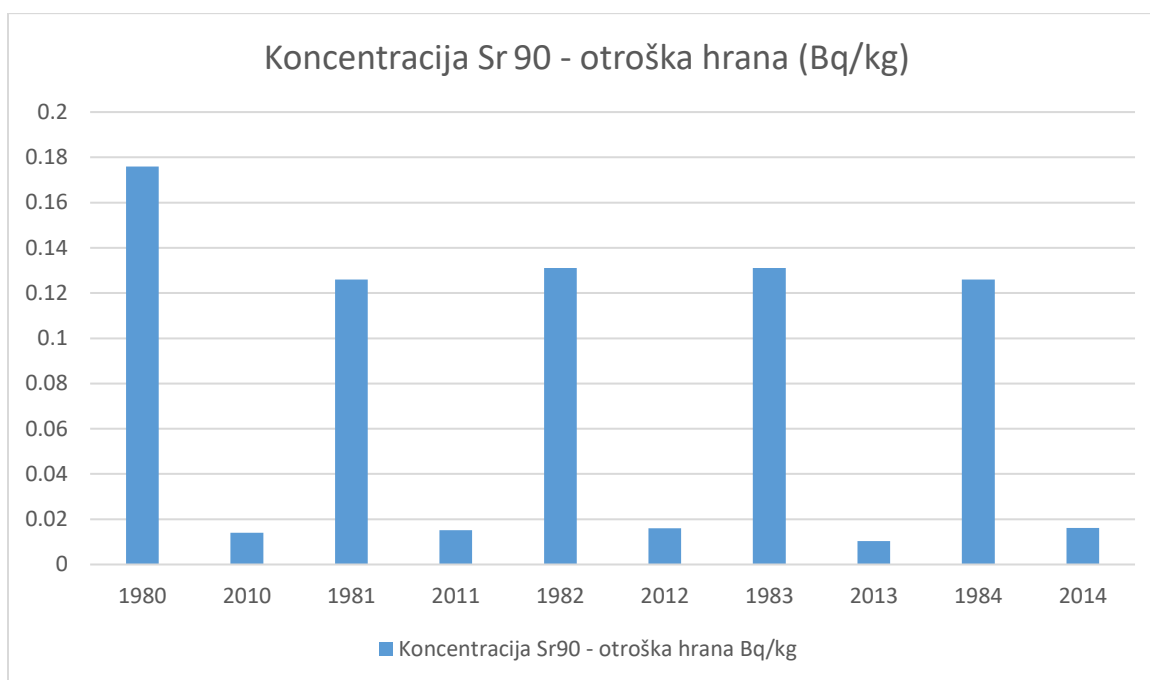
Koncentracije Sr 90 v otroški hrani v Ljubljani ostajajo stabilne. Iz grafa 8 je razvidno, da je najvišja koncentracija Sr 90 bila izmerjena leta 1987. Torej eno leto po jedrski nesreči. Graf 7 nakazuje da se je koncentracija Sr 90 za malenkost povečala po jedrski nesreči leta 2011. Okrog leta 1981 niso nastopile nobene posebnosti.



Graf 7: Primerjava koncentracije Sr 90 v otroški hrani med leti 2010, 2011 in 2012



Graf 8: Primerjava koncentracije Sr 90 v otroški hrani med leti 1985, 1986 in 1987



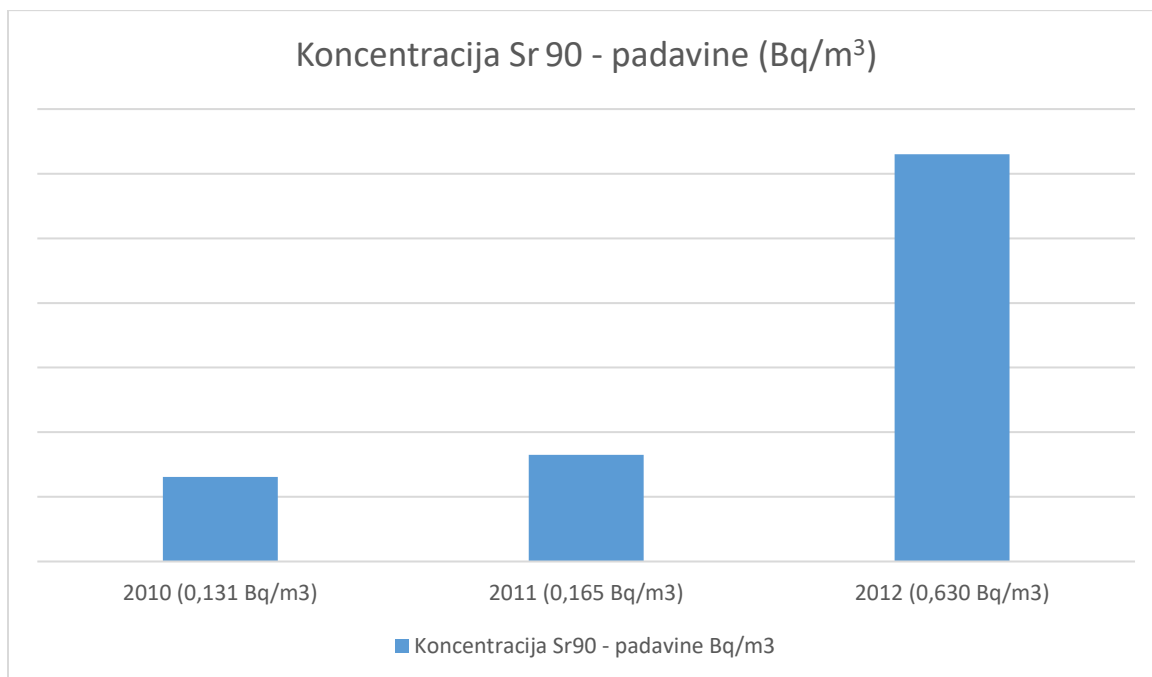
Graf 9: Primerjava koncentracije Sr 90 v otroški hrani med leti 1980 – 1984 in 2010 -2014

Preglednica 17: Koncentracije Sr 90 v padavinah v Ljubljani

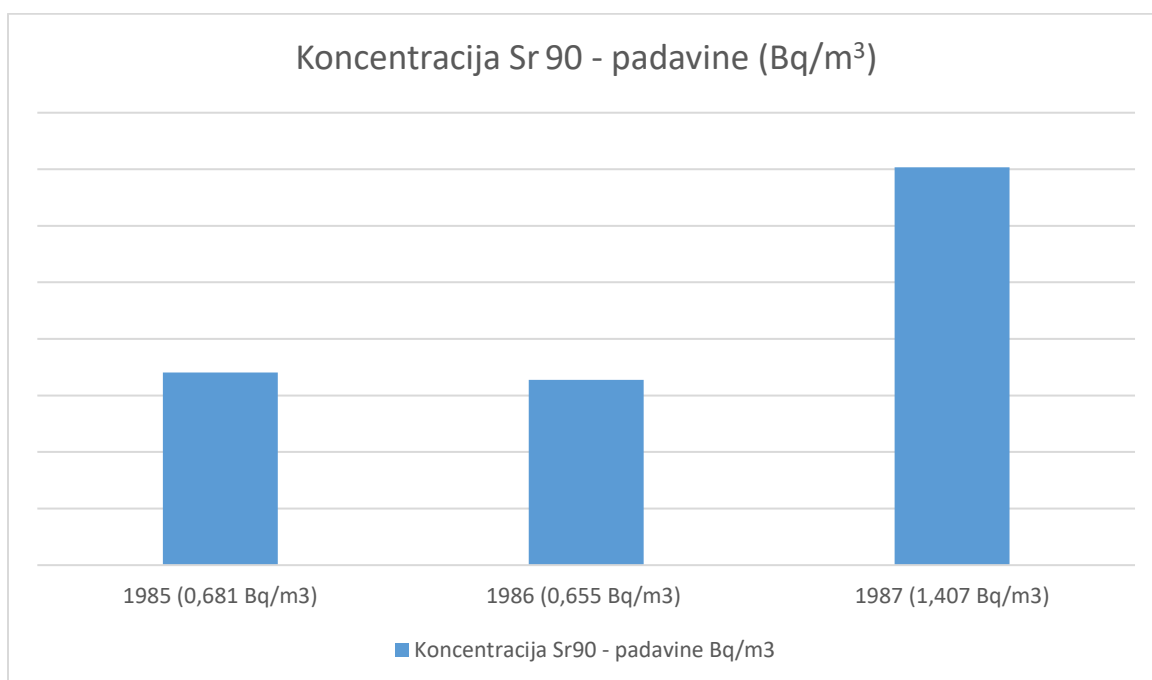
Leto	Vrednost (Bq/m ³)
1980	0,275
1981	0,389
1982	0,291
1983	0,454
1984	0,707
1985	0,681
1986	0,655
1987	1,407
2010	0,131
2011	0,165
2012	0,630
2013	0,310
2014	0,430

(Vir: A. P. Vraber, 2018)

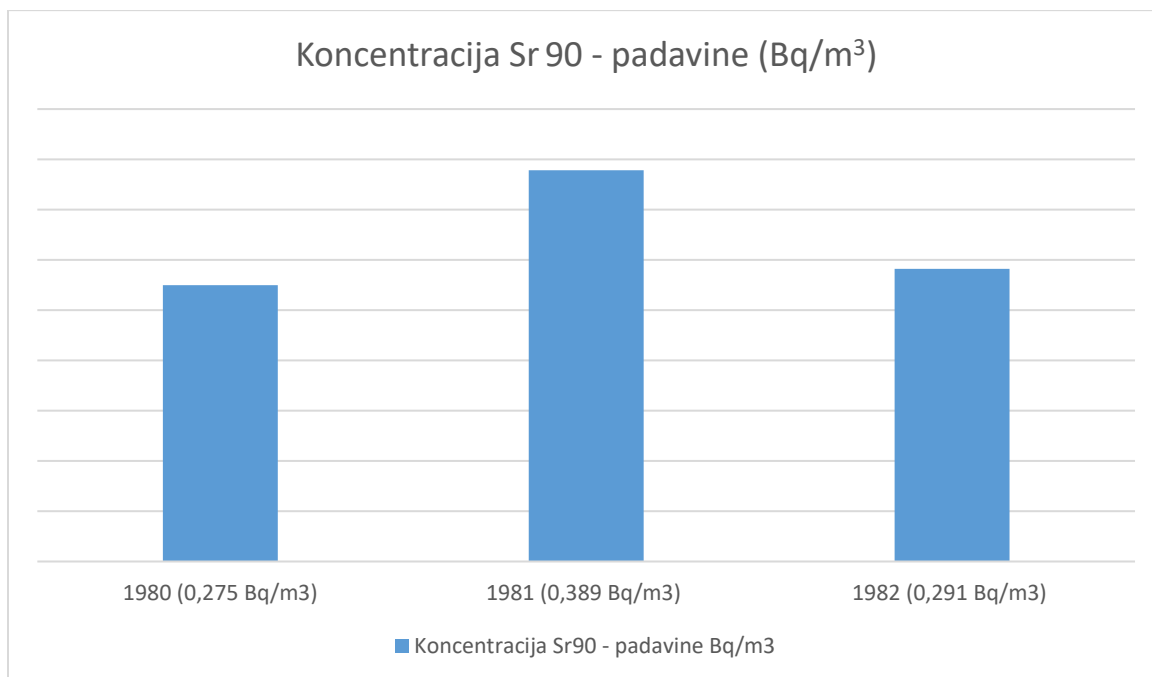
Koncentracije Sr 90 v padavinah v Ljubljani nihajo. Najvišja koncentracija je bila izmerjena leta 1987. Najnižja pa leta 2010. Posebnosti nastopijo v letu 1987 in 2012. Torej eno leto po jedrskih nesrečah. Okrog leta 1981 ne nastopajo posebnosti.



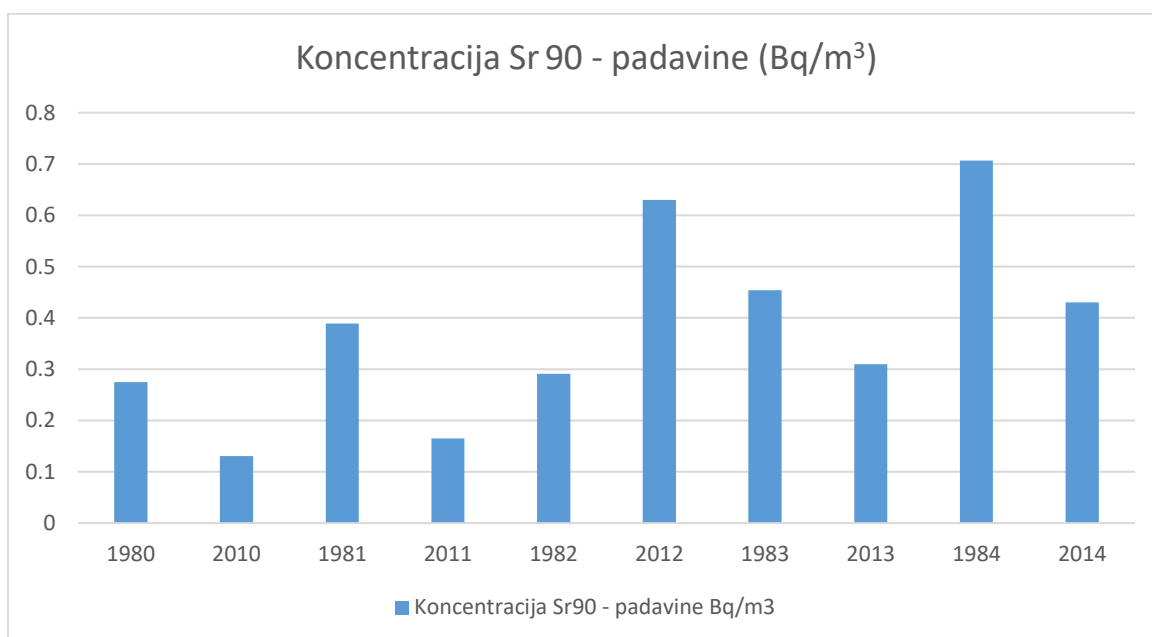
Graf 10: Primerjava koncentracije Sr 90 v padavinah med leti 2010, 2011 in 2012



Graf 11: Primerjava koncentracije Sr 90 v padavinah med leti 1985, 1986 in 1987



Graf 12: Primerjava koncentracije Sr 90 v padavinah med leti 1980, 1981 in 1982



Graf 13: Primerjava koncentracije Sr 90 v padavinah med leti 1980 – 1984 in 2010 – 2014

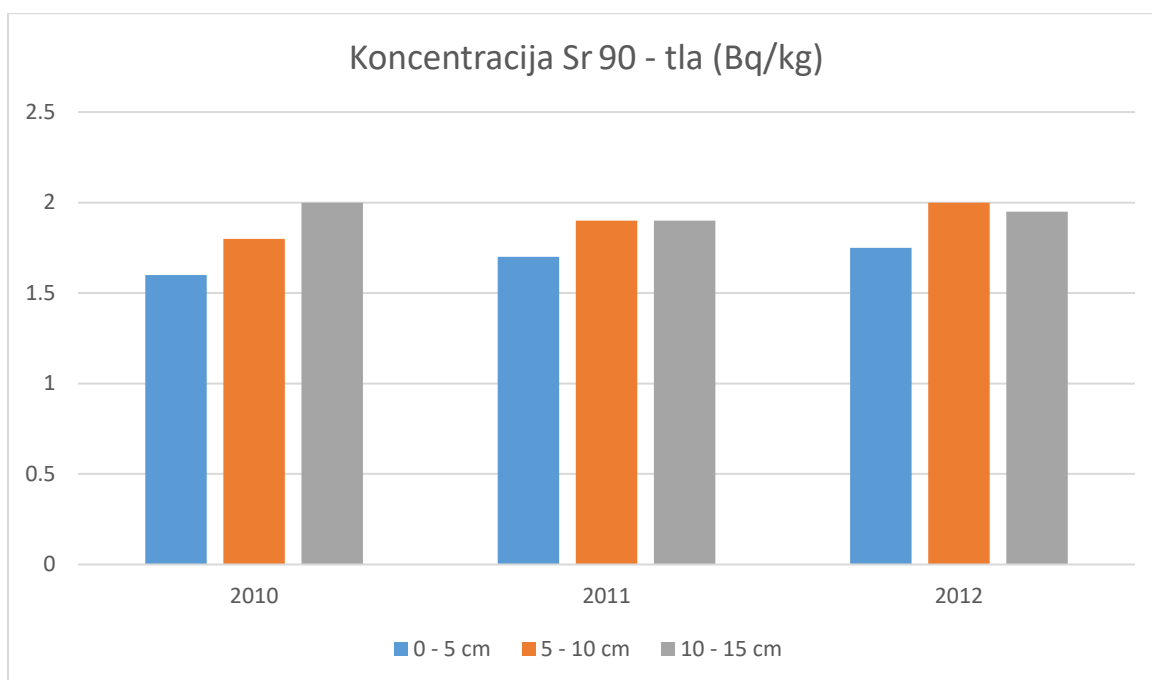
Preglednica 18: Koncentracije Sr 90 v tleh v Ljubljani

Leto	Vrednost (Bq/kg)
1980	0 – 5 cm 14,6 5 – 10 cm 5,5 10 – 15 cm 13,1
1981	0 – 5 cm 11,0 5 – 10 cm 13,4 10 – 15 cm 7,6
1982	0 – 5 cm 4,3 5 – 10 cm 5,3 10 – 15 cm 4,8
1983	0 – 5 cm 3,8 5 – 10 cm 4,7 10 – 15 cm 4,8
1984	0 – 5 cm 3,2 5 – 10 cm 3,3 10 – 15 cm 5,3
1985	0 – 5 cm 2,2 5 – 10 cm 2,8 10 – 15 cm 2,6
1986	0 – 5 cm 2,8 5 – 10 cm 5,9 10 – 15 cm 2,0
1987	0 – 5 cm 2,7 5 – 10 cm 4,4 10 – 15 cm 3,1
2010	0 – 5 cm

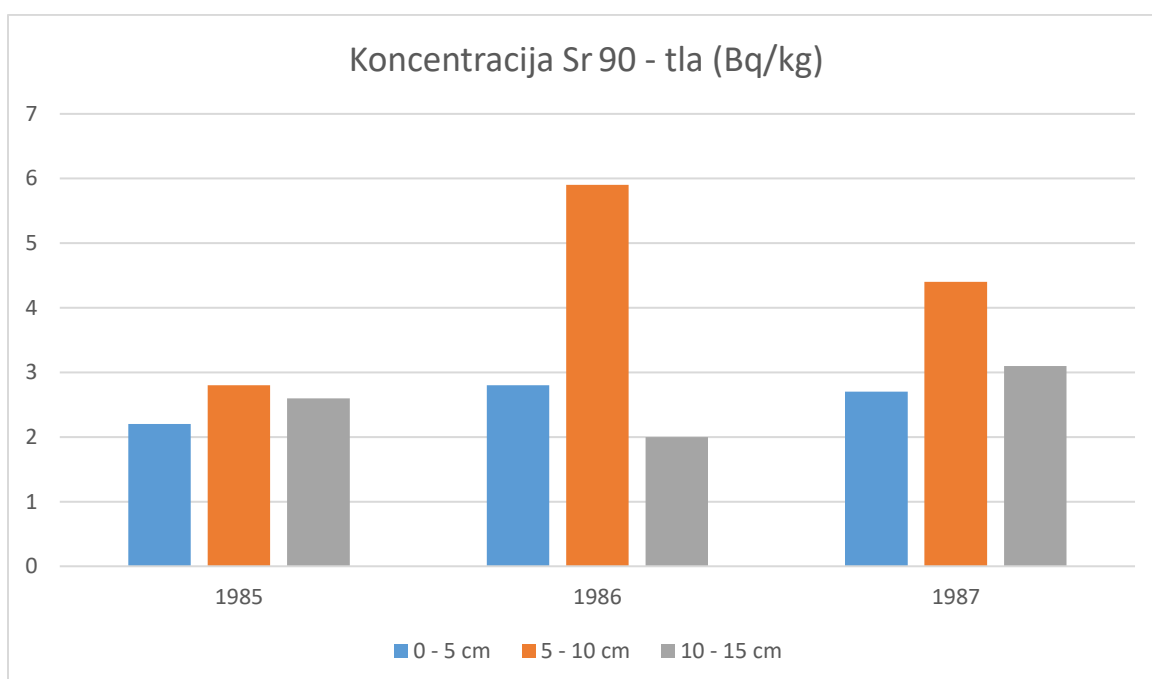
	1,6 5 – 10 cm 1,8 10 – 15 cm 2,0
2011	0 – 5 cm 1,7 5 – 10 cm 1,9 10 – 15 cm 1,9
2012	0 – 5 cm 1,75 5 – 10 cm 2,0 10 – 15 cm 1,95
2013	0 – 5 cm 1,6 5 – 10 cm 1,7 10 – 15 cm 1,8
2014	0 – 5 cm 1,8 5 – 10 cm 2,1 10 – 15 cm 1,95

(Vir: A. P. Vraber, 2018)

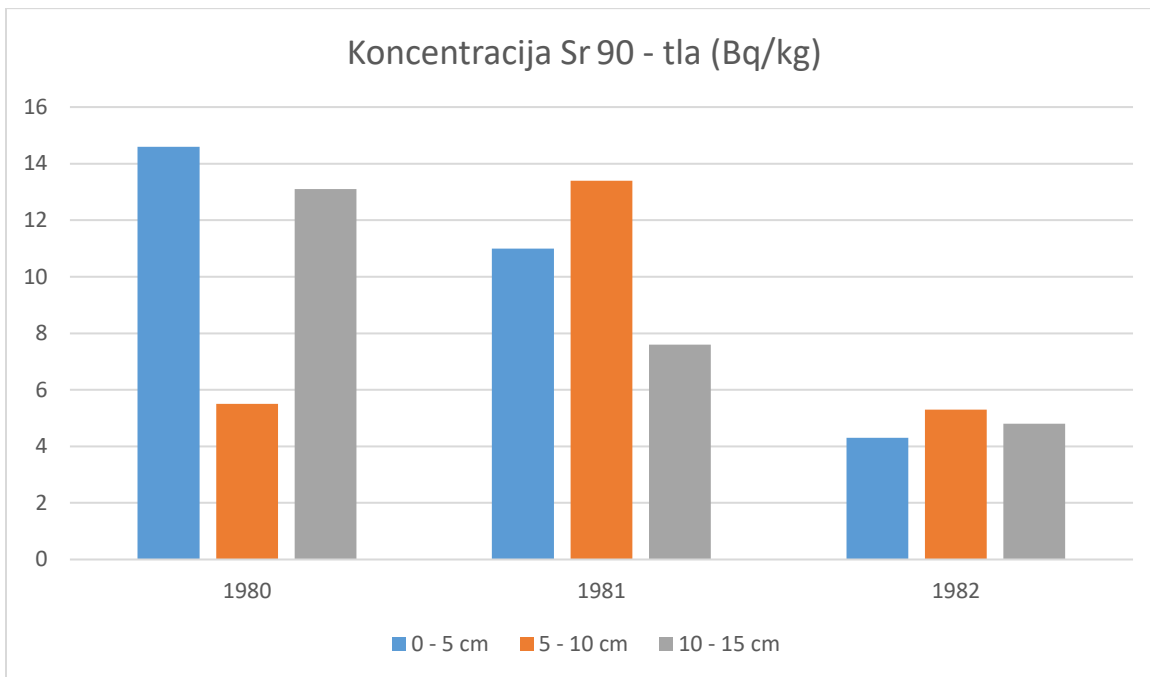
Koncentracije Sr 90 v tleh v Ljubljani nihajo. Iz grafa 18 je razvidno, da skupne koncentracije v vseh plasteh upadajo letno. Posebnost nastopi samo v letu 1986 v tleh od globine 5 do 10 cm.



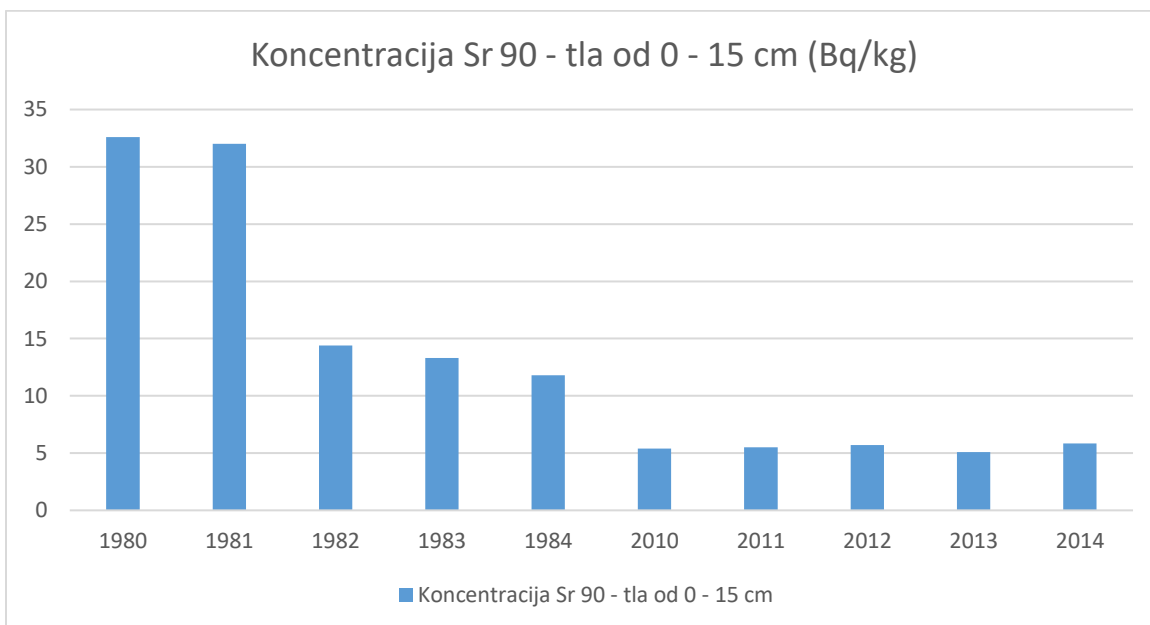
Graf 14: Primerjava koncentracije Sr 90 v tleh med leti 2010, 2011 in 2012



Graf 15: Primerjava koncentracije Sr 90 v tleh med leti 1985, 1986 in 1987



Graf 16: Primerjava koncentracije Sr 90 v tleh med leti 1980, 1981 in 1982



Graf 17: Primerjava koncentracije Sr 90 v tleh med leti 1980 – 1984 in 2010 – 2014

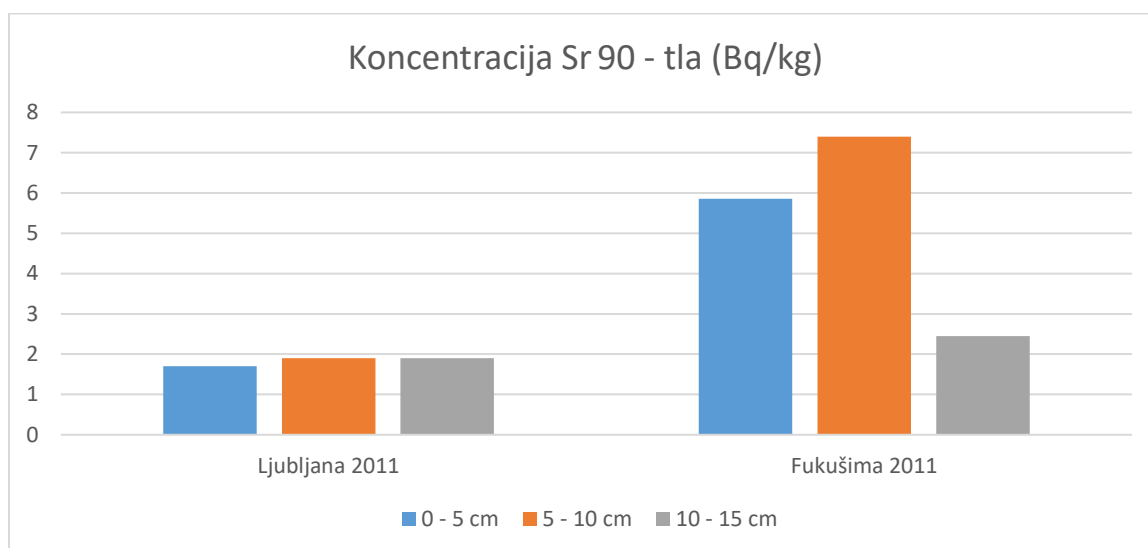
8.1.1 Primerjava koncentracije stroncija 90 v tleh med Ljubljano in Fukušimo 2011

Koncentracija Sr 90 v tleh v Ljubljani za leto 2011 je znatno manjša od koncentracije v Fukušimi. Jedrska nesreča se je pripetila marca 2011. Meritve so na letnem nivoju (Steinhauser idr. 2013).

Preglednica 19: Koncentracije Sr 90 v tleh za leto 2011 v Ljubljani in Fukušimi

Ljubljana	Fukušima
0 – 5 cm	0 – 5 cm
1,7 Bq/kg	5,86 Bq/kg
5 – 10 cm	5 – 10 cm
1,9 Bq/kg	7,4 Bq/kg
10 – 15 cm	10 – 15 cm
1,9 Bq/kg	2,45 Bq/kg

(Vir: Steinhauser idr., 2013)



Graf 18: Primerjava koncentracije Sr90 v tleh med Ljubljano in Fukušimo v letu 2011

8.1.2 Migracijske lastnosti stroncija 90 v tleh

Migracija Sr 90 v tleh je odvisna od količine usedlin in časovnih premikov elementov v tleh ter od parametrov tal, kot so pH, vsebnost kationov in struktura tal. Radionuklidom gibanje v tleh omogoča voda v obliki padavin ter površinskih in podzemnih voda. Mehanski proces v obliki oranja omogoča lažje gibanje elementov do globine 30 cm. Tako prihaja do mešanja nuklidov in čez čas povzroča njihovo enakomerno porazdelitev do obdelovalne globine. K biološkim procesom migracije prištevamo količino, vsrkano in transportirano s strani zemeljskih živali in korenin rastlin (Mewis 2004).

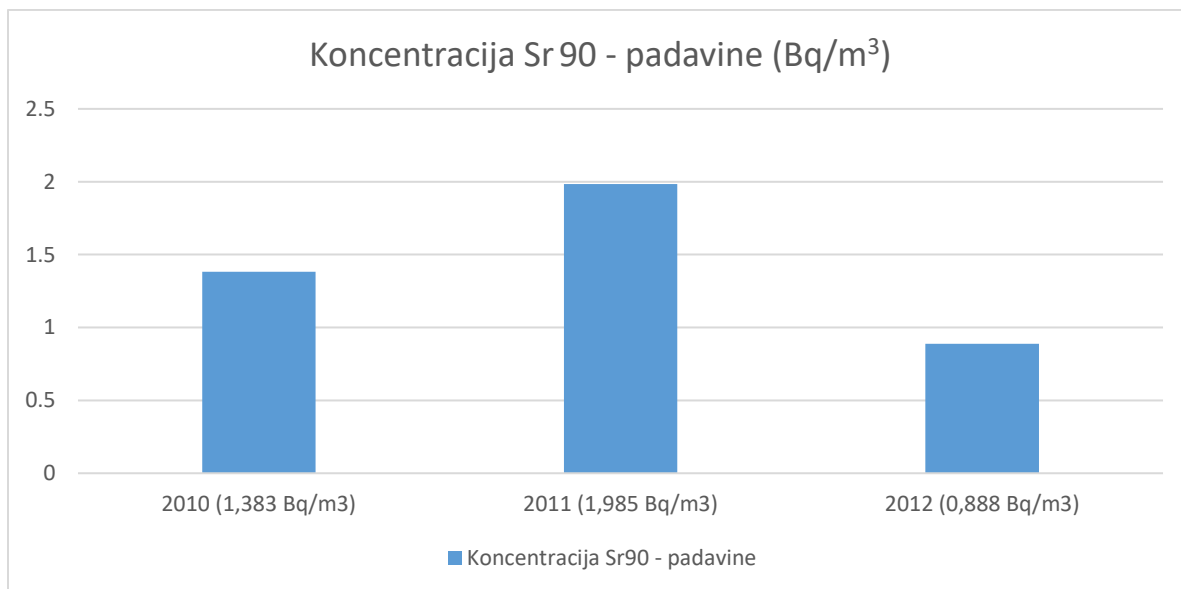
8.2 Krško

Preglednica 20: Koncentracije Sr 90 v padavinah v Krškem

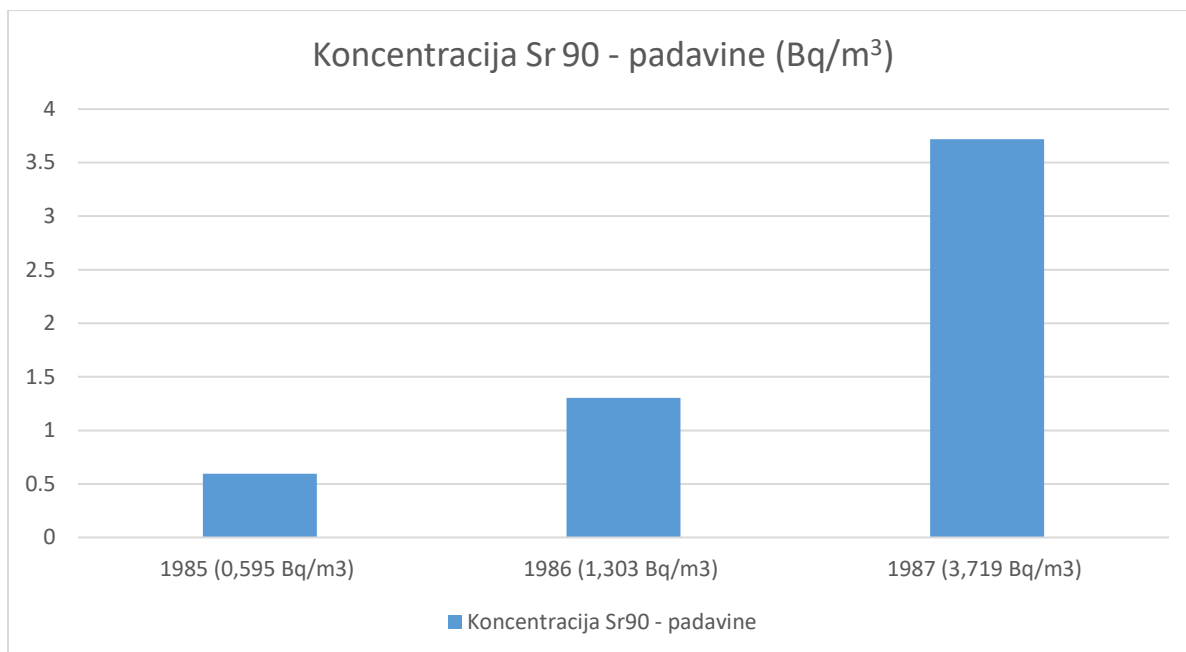
Leto	Vrednost (Bq/m ³)
2014	0,890
2013	0,674
2012	0,888
2011	1,985
2010	1,383
1987	3,719
1986	1,303
1985	0,596
1984	0,647
1983	/

(Vir: A. P. Vraber, 2018)

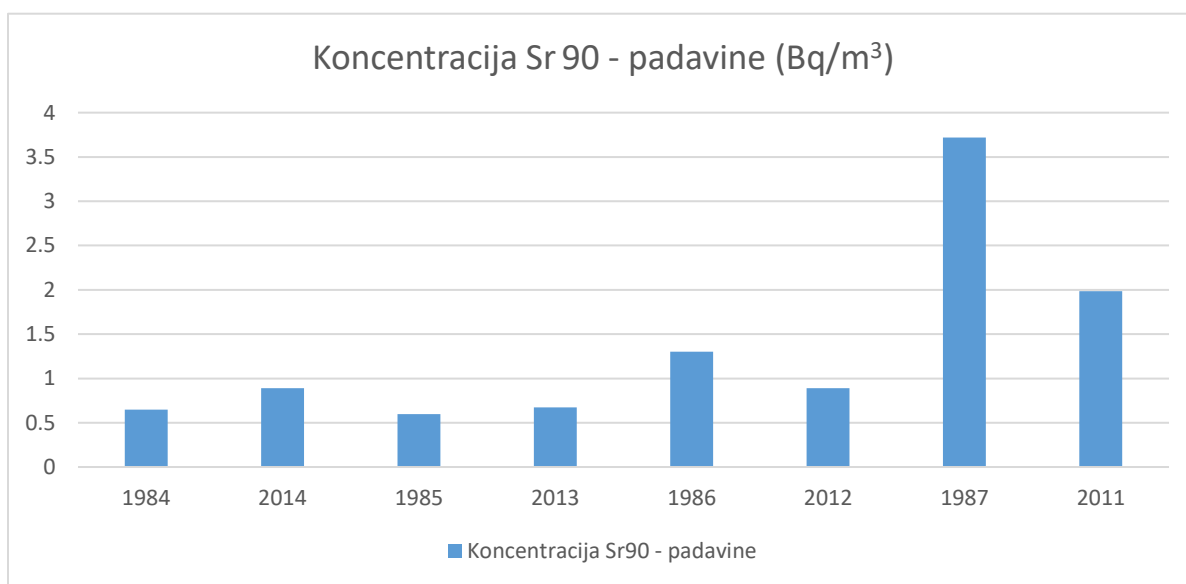
Iz grafa 22 je razvidno, da posebnosti nastopijo v letu 1987, 2010 in 2011. Torej v letih okrog jedrskih nesreč. Vrednosti v ostalih letih so podobne vrednostim iz predhodnega leta.



Graf 19: Primerjava koncentracije Sr 90 v padavinah med leti 2010, 2011 in 2012



Graf 20: Primerjava koncentracije Sr 90 v padavinah med leti 1985, 1986 in 1987



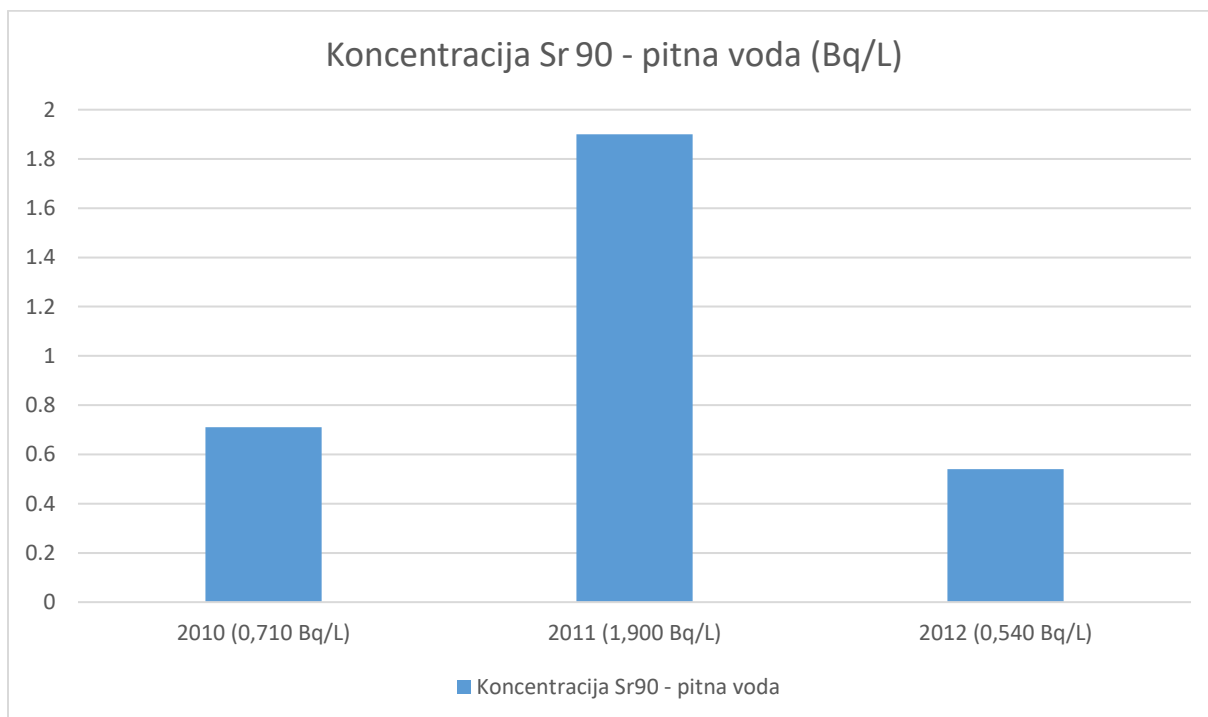
Graf 21: Primerjava koncentracije Sr 90 v padavinah med leti 1984 – 1987 in 2011 – 2014

Preglednica 21: Koncentracije Sr 90 v pitni vodi v Krškem

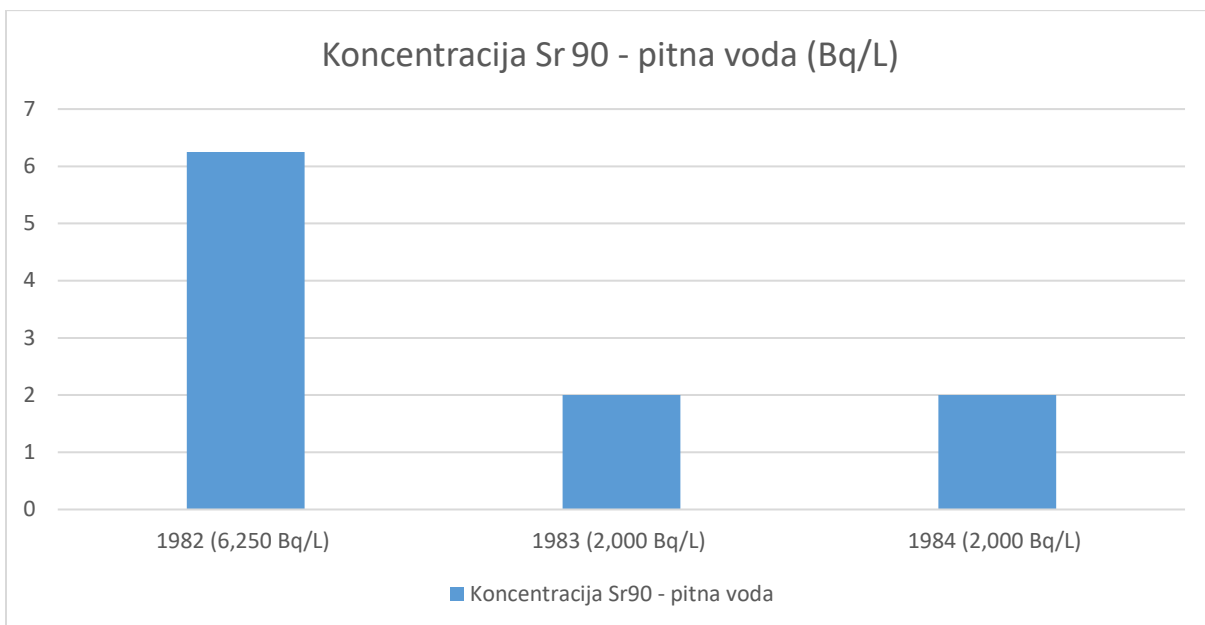
Leto	Vrednost (Bq/L)
2014	0,950
2013	0,477
2012	0,540
2011	1,900
2010	0,710
1987	1,900
1986	/
1985	2,000
1984	2,000
1983	2,000
1982	6,250

(Vir: A. P. Vraber, 2018)

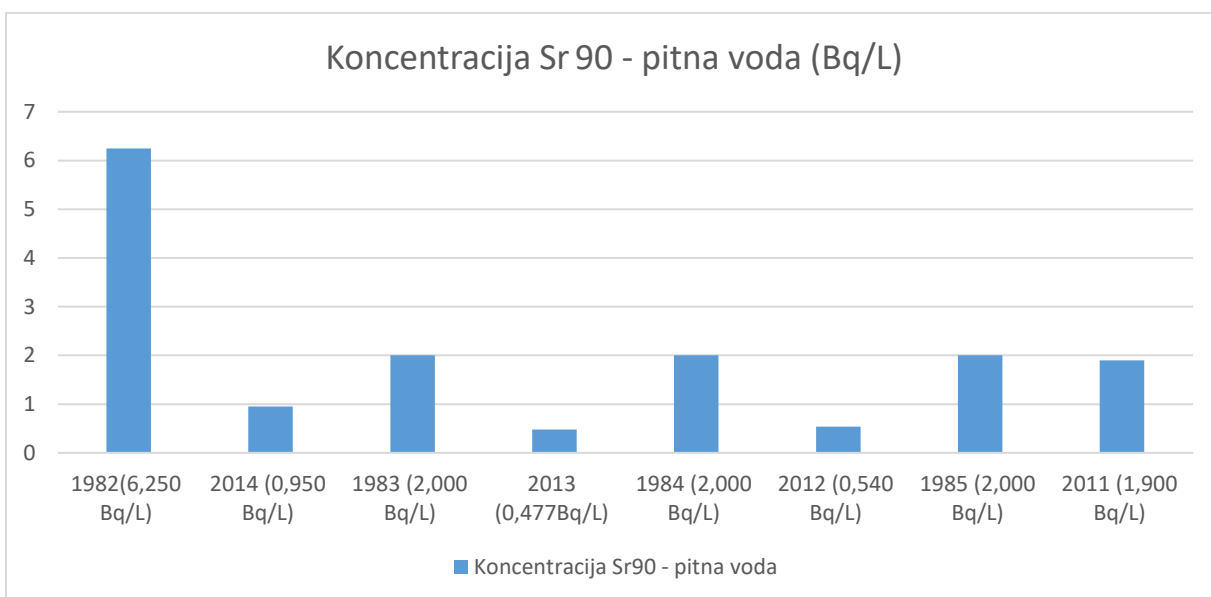
Povišana vrednost koncentracije Sr 90 v pitni vodi na Krškem je v letu 1982. Posebna je vrednost v letu 2011 v primerjavi z predhodnimi leti.



Graf 22: Primerjava koncentracije Sr 90 v pitni vodi med leti 2010, 2011 in 2012



Graf 23: Primerjava koncentracije Sr 90 v pitni vodi med leti 1982, 1983 in 1984



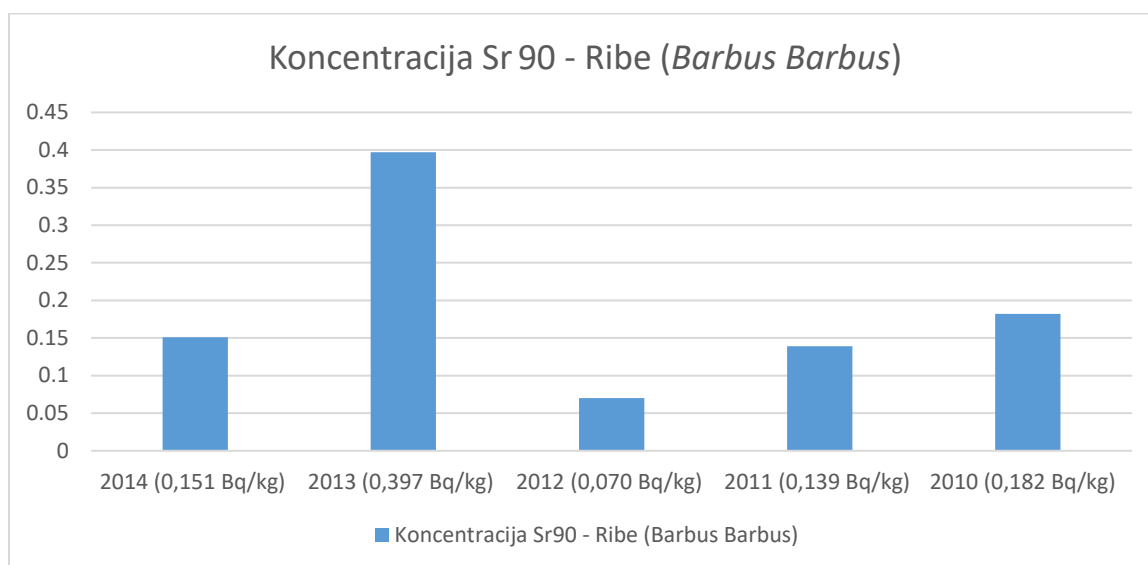
Graf 24: Primerjava koncentracije Sr 90 v pitni vodi med leti 1982 - 1985 in 2011 - 2014

Preglednica 22: Koncentracije Sr 90 v ribah mrena (*Barbus barbus*) ulovljenih v Krškem

Leto	Vrednost (Bq/kg)
2014	0,151
2013	0,397
2012	0,070
2011	0,139
2010	0,182

(Vir: A. P. Vraber, 2018)

Koncentracija Sr 90 v ribah mrena (*Barbus barbus*) je stabilna in si je podobna iz leta v leto. Edina posebnost nastopi v letu 2013.



Graf 25: Primerjava koncentracije Sr 90 v ribah mrena (*Barbus barbus*) med leti 2010 – 2014

Najvišje dovoljene vrednosti stroncija 90 v Sloveniji:

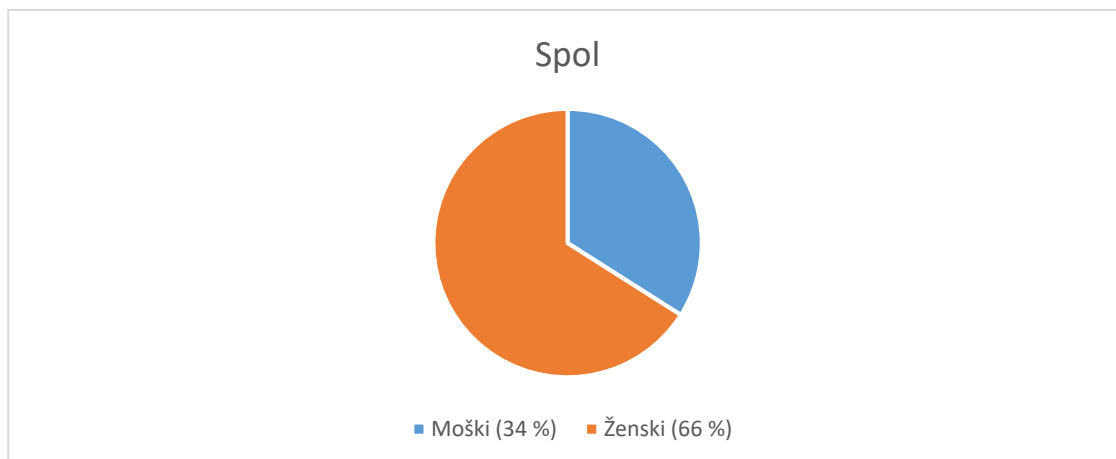
- voda namenjena za človeško porabo: 4.9 Bq/L (UE št. 51/13, 2013)
- otroška hrana: 75 Bq/kg
- mlečni izdelki 125 Bq/kg
- ostala hrana 750 Bq/kg (UE, št. 52/16, 2016)

Izmerjene koncentracije Sr 90 niso nikoli presegale najvišje dovoljene koncentracije. Vse posebnosti, ki so nastopile pri meritvah se lahko datumsko povezujejo z jedrskimi nesrečami. Torej odstopanja nastopijo okrog leta 1987 in 2011.

9. Rezultati in razprava

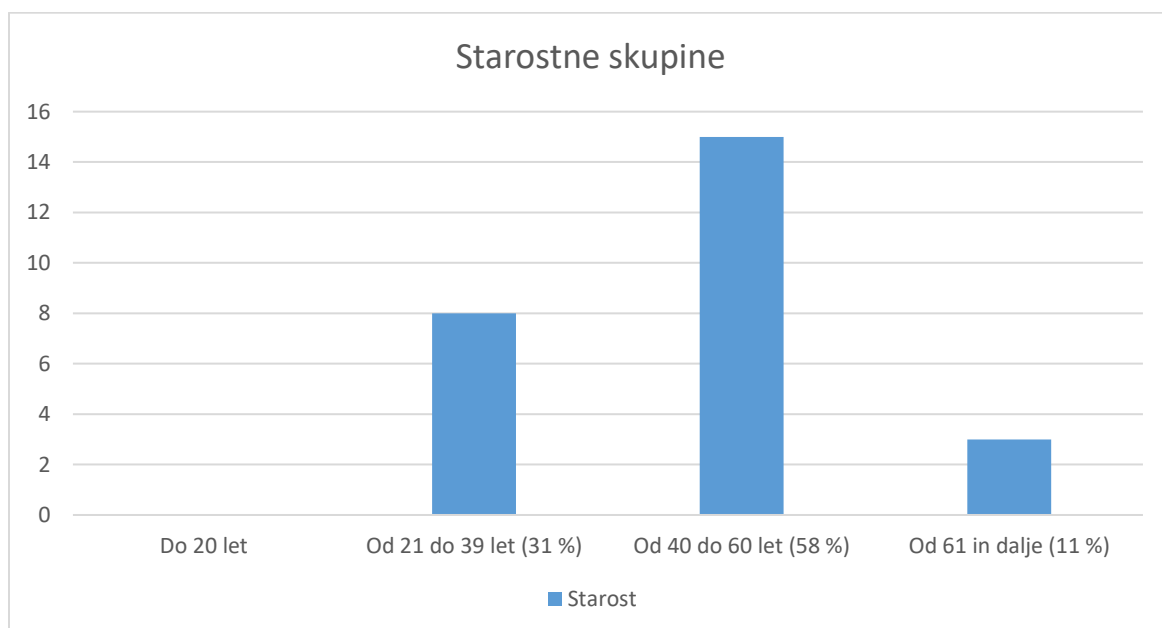
9.1 Rezultati

Anketni vprašalnik je izpolnilo 26 ljudi. Vprašalniki so bili izpolnjeni v celoti. V raziskavi je sodelovalo 8 moških (34 %) in 18 žensk (66 %).



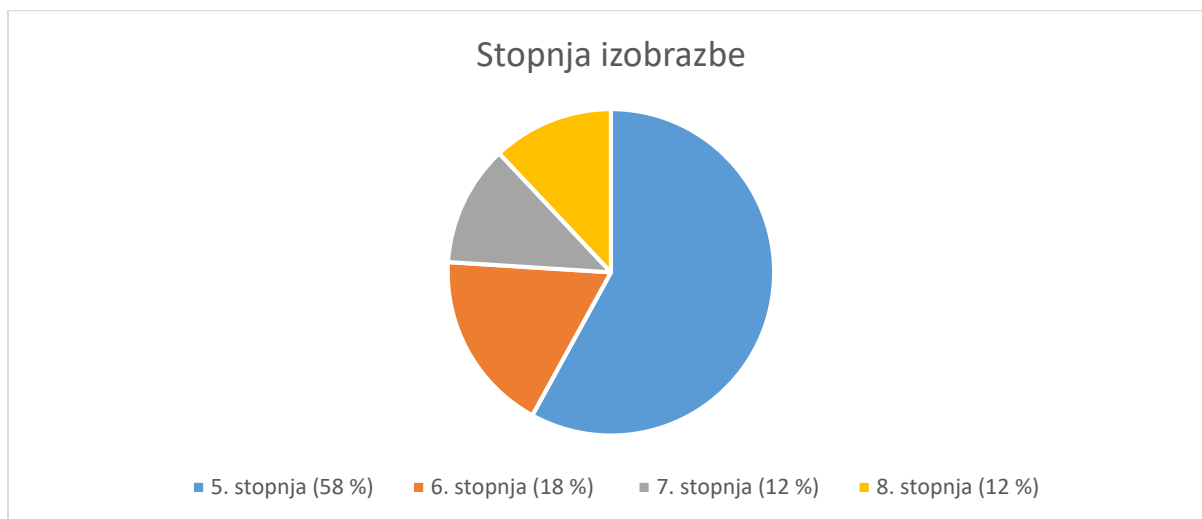
Graf 26: Delež anketirancev po spolu

Iz grafa 28 je razvidno, da bil je največji delež sodelujočih pri anketi starosti med 40 in 60 let (15 anketirancev). Sledili so tisti od 21 do 39 let (8 anketirancev) ter nazadnje 61 in več let (3 anketiranci). V anketi niso sodelovali anketiranci do 20. leta.



Graf 27: Delež anketirancev po starosti

Izobrazbena struktura je bila sledeča: največ anketirancev je dokončalo srednjo šolo (16 anketirancev), sledijo jim z dokončano visokošolsko izobrazbo (5 anketirancev), 2 anketiranca imata univerzitetno izobrazbo in 3 magisterij ali doktorat.



Graf 28 : Izobrazba anketiranih

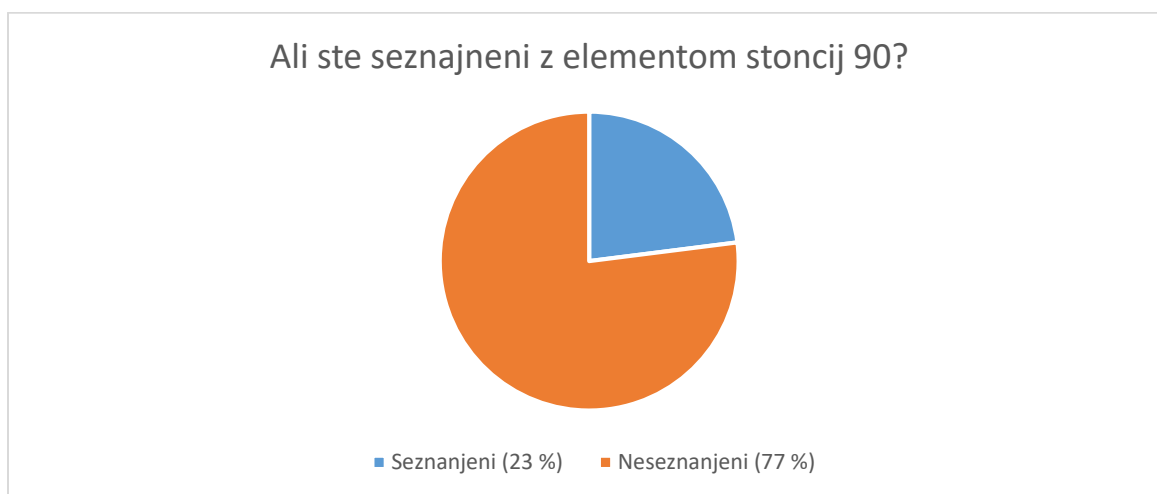
Vsi anketiranci so vedeli, da v Sloveniji obratuje nuklearna elektrarna in kako se imenuje. 13 anketirancev je menilo, da nuklearna elektrarna Krško proizvede od 5 % do 25 % slovenske električne energije, 10 jih je ocenilo, da od 25 % do 45 %, in 3, da od 45 % do 65 %.

Na vprašanje, ali je uporaba jedrske energije optimalna rešitev, je 18 anketirancev odgovorilo z ne in 4 z da. Anketiranci, ki so odgovorili z da, so svoj odgovor obrazložili s tem, da je okolje s strani jedrske energije najmanj onesnaženo in potreba po električni energiji tako visoka, da je jedrska energija potrebna za zagotavljanje energije. Odgovor ne so utemeljili z argumenti, da je potrebna skrb za okolje, imamo drugačne, bolj varne metode pridobivanja električne energije, problemi so z radioaktivnimi odpadki in tveganje ob delovanju jedrske elektrarne je previsoko.

Vsi anketiranci podpirajo obnovljive vire energije.

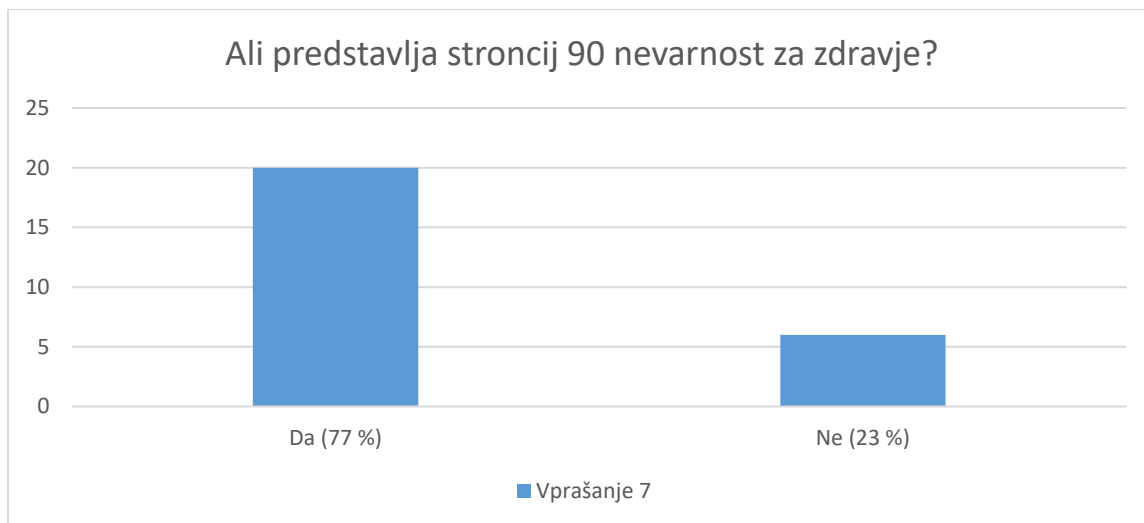
Od 26 anketirancev jih je 15 spadalo v starostno skupino, ki je morala upoštevati varnostne ukrepe v času černobilske jedrske katastrofe. Odgovori so bili podobni – od omejenega gibanja na prostem, prepovedi uživanja zelenjave lastne predelave, prekuhavanje mleka iz domače reje do prepovedi nabiranja gozdnih dobrin.

Iz grafa 29 je razvidno, da je bilo 6 anketirancev seznanjenih s stroncijem 90. 20 jih ni poznalo tega elementa. Od seznanjenih so bili 3 z magistrsko ali višjo izobrazbo, 2 z univerzitetno in eden z visokošolsko.



Graf 29: Delež anketirancev, ki so seznanjeni z elementom stroncijem 90

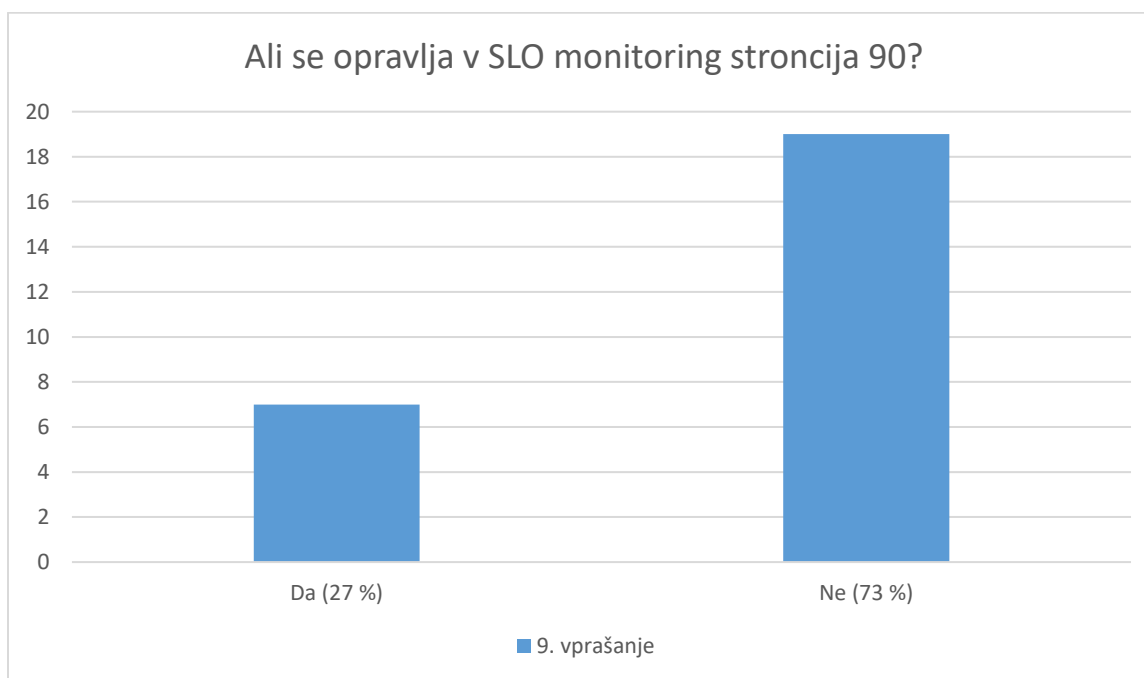
20 anketirancev je menilo, da stroncij 90 kljub nizkim koncentracijam predstavlja nevarnost za zdravje ljudi. Ostali so bili obratnega mišljenja. Dva od teh sta bila seznanjena s stroncijem 90 in sta menila, da ne predstavlja nevarnosti.



Graf 30: Odgovor o tveganju zdravja s strani stroncija 90

Vsi anketiranci podpirajo raziskavo za določevanje koncentracije stroncija 90 v okostju ali zobeh.

19 anketirancev je menilo, da se ne opravlja redni monitoring stroncija 90 v Sloveniji, in 7, da se opravlja. 24 jih podpira idejo o rednem monitoringu stroncija 90, 2 to vidita kot nepotrebno.



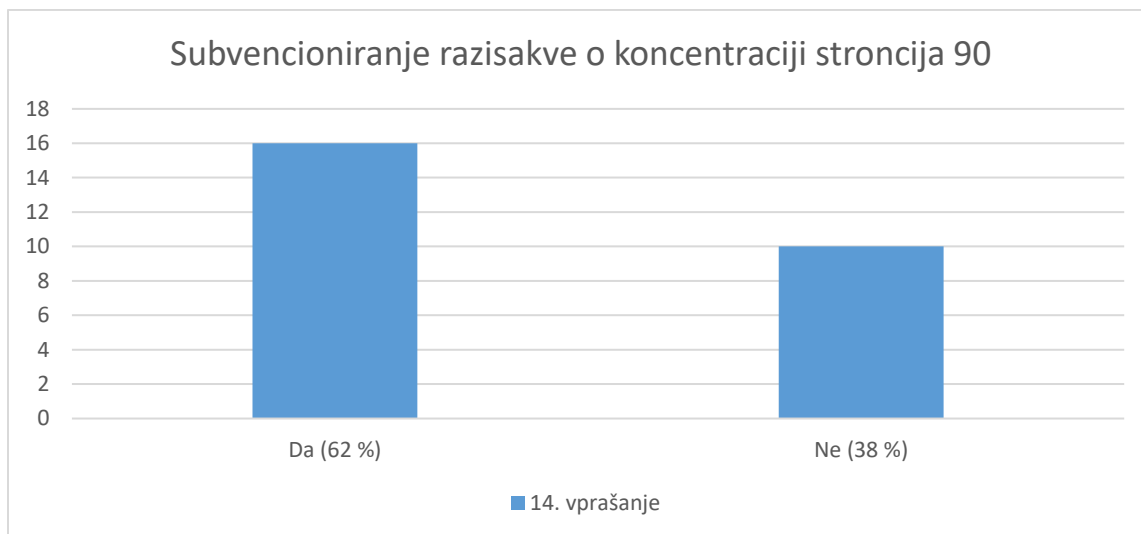
Graf 31: Mnenje o opravljanju rednega monitoringa stroncija 90 v Sloveniji

Vsi anketiranci so izbrali pitno vodo kot pomemben medij za določevanje stroncija 90. 17 se jih je odločilo za živila, 4 za tla, 3 za padavine in 2 za rastline.

22 anketirancev je mišljenja, da kljub nizkim koncentracijam stroncij 90 v pitni vodi predstavlja nevarnost za zdravje ljudi, 4 pa ne zaznavajo te nevarnosti.

Vsi, ki so sodelovali pri anketi, so pridobili novo znanje.

16 anketirancev bi bilo pripravljenih financirati raziskavo o koncentraciji stroncija 90. 12 jih ne bi bilo pripravljenih, ker so mnenja, da mora takšno delo subvencionirati država.



Graf 32: Delež anketirancev, ki bi bili pripravljeni financirati raziskavo o koncentraciji stroncija 90

9.2 Razprava

Dandanes je mišljenje o jedrski energiji v družbi razdeljeno v dve skupini, in sicer so ljudje, ki jo podpirajo, in ljudje, ki jo zavračajo. Vsi pa imajo za utemeljitev svojih stališč tako pozitivna kot negativna stališča, ampak vsi vemo, da potreba po električni energiji narašča.

Nenehno delovanje reaktorjev, jedrske nesreče in jedrski poizkusi so ves čas vplivali na okolje in človeštvo. Vzpostavlja se vprašanje, ali je vrednost električne energije večja od zdravja ljudi, oziroma ali je delovanje teh reaktorjev enakega pomena kot vplivi na ljudi.

Stroncij 90 se nahaja v naših telesih in kljub nizkim koncentracijam so lahko njegove posledice znatne. V Sloveniji so najpogostejši pojavi kožnega raka, pljučnega raka in raka na dojkah (medmrežje 4).

Število obolelih za levkemijo ali kostnim rakom je neznan, prav tako njihova povezava s stroncijem 90, ampak menim, da bi se lahko našla povezava med stroncijem 90 in določenimi rakavimi obolenji v Sloveniji.

S pomočjo ankete sem poizkušal ugotoviti mnenje in seznanjenost splošnega prebivalstva o jedrski energiji in stronciju 90. Pri iskanju literature sem naletel na skromni delež informacij o stronciju 90 v povezavi s Slovenijo, saj tovrstna raziskava o vplivu na zdravje v Sloveniji še ni bila izvedena. Preden sem pričel z raziskavo, sem si zastavil tri hipoteze, ki sem jih nato preveril z vprašalnikom in pridobljenim znanjem.

Prva hipoteza se je glasila: »Ozaveščenost javnosti glede Sr 90 je zelo skromna«.

To hipotezo lahko deloma potrdim, saj so rezultati ankete pokazali, da več kot 75 % anketirancev ni bilo seznanjenih s stroncijem 90. Ampak zaradi ne reprezentativnega vzorca anketirancev, hipotezo ne morem 100 odstotno potrditi. Potrebno je opraviti anketo na državnem nivoju.

Druga hipoteza se je glasila: »Koncentracije Sr 90 v Sloveniji ne ogrožajo zdravja ljudi«.

Hipotezo lahko potrdim. Podatke, ki sem jih dobil s strani Agencije RS za jedrsko varnost, sem dokazal, da so koncentracije stroncija 90 daleč pod omejenimi vrednostmi. Skozi diplomsko delo sem dokazal, da so lahko manjše koncentracije stroncija 90 že nevarne za zdravje ljudi. Kljub temu, da so že manjše koncentracije lahko nevarne za zdravje ljudi, pa so v Sloveniji izmerjene koncentracije še nižje od teh.

Tretja hipoteza se je glasila: »V Sloveniji se opravlja redni monitoring Sr 90«.

To hipotezo lahko potrdim, saj se je od leta 1961 do leta 2015 opravilo 23.794 meritev Sr 90 v različnih medijih. Prav tako so koncentracije zapisane v letnih poročilih URSVJ o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti v Republiki Sloveniji.

Koncentracije stroncija 90 v Sloveniji od začetka monitoringa do danes niso nikoli presegle mejne vrednosti predpisane s strani Evrope Unije. Edine posebnosti koncentracije stroncija 90 se gibljejo okrog dveh letnic. Povečane vrednosti so nastopile okrog leta 2011 (jedrska nesreča Fukušima) in leta 1986 (Černobilska jedrska nesreča). Ampak kljub temu koncentracije niso dosegle mejnih vrednosti. Skozi diplomsko delo sem izpostavil leto 1981. Tega leta je začela obratovati Nuklearna elektrarna Krško. Koncentracije stroncija 90 so se povečala, po letu 1981. Ampak razlike so skoraj neopazne.

10. Zaključek

Jedrska energija predstavlja pomemben del pri električni proizvodnji tako na svetovnem kot tudi slovenskem nivoju. V Sloveniji delujoča nuklearna elektrarna Krško proizvede skoraj 40 % letnega proizvoda elektrike, kar pomeni, da njena nenadna zaustavitev ni mogoča. Vzpostavljajo se moralna vprašanja, ali je možno ta vir energije v prihodnosti obdržati ali ga zaradi posledic zavrniti. Podatkov o negativnih vplivih jedrskih elektrarn je ogromno, zato so mnenja deljena.

Monitoring Sr 90 se opravlja na državnem nivoju. Njegova koncentracija se spremlja večinoma v pitni vodi in raznih živilih, pa tudi v drugih medijih, kot so tla in sedimenti. Koncentracije imajo skozi leta stabilne vrednosti, kar pomeni, da so manjša nihanja med rezultati meritev. Posebnosti nastopijo v 2011 in 1986 ter letih, ki se gibljejo v krajšem časovnem razponu okoli teh dveh let. Leta 2011 se je zgodila jedrska katastrofa v Fukušimi in leta 1986 v Černobilu. Leta 1981 je začela obratovati nuklearna elektrarna Krško. Vrednosti Sr 90 so ostale podobne, kot so bile leta pred obratovanjem elektrarne.

Koncentracije Sr 90 v Sloveniji so torej daleč pod dovoljenimi koncentracijami, kar pomeni, da nima vpliva na zdravje ljudi. Njegovih točnih vplivov ne moremo opisati, saj se zaradi nizkih koncentracij ne spremlja v človeških vzorcih.

V sklopu diplomskega dela je bila izvedena raziskava, s katero sem želel preveriti seznanjenost splošne javnosti o jedrski energiji in Sr 90. Vzorec, zajet v raziskavo, je bil sicer majhen (le 26) in je zajemal lokalno prebivalstvo dveh občin, a mi je kljub temu pomagal priti do določenih ugotovitev.

Z analizo odgovorov sem tako ugotovil, da večina sodelujočih v anketi zavrača uporabo jedrskih elektrarn za pridobivanje električne energije. Menijo, da se lahko ta težava reši z uporabo alternativnih metod. 80 % sodelujočih ni seznanjenih s Sr 90, vendar so mišljenja, da se njegov monitoring v Sloveniji ne izvaja. Ob ugotovitvi, da se opravlja, je nastopilo začudenje, ampak kljub temu želijo, da se monitoring izvaja tudi na človeških vzorcih.

11. Povzetek

Z diplomskim delom sem predstavil probleme jedrske energije, delovanje jedrskih elektrarn in pomembnost zavedanja možnih nevarnostih delovanja teh elektrarn v naši družbi. Opisane so ključne jedrske katastrofe v zadnjih petdesetih letih, njihov vpliv na nadaljnji razvoj in mišljenje o jedrski energiji ter izpusti in vplivi, ki so nastopili zaradi katastrof.

Vsak dan smo izpostavljeni sevanju, bodisi naravnemu (sonce) bodisi umetnemu (medicina), njegove koncentracije pa so odvisne tako od lokacije na planetu kot od zdravstvenega stanja posameznika.

Del umetnega sevanja predstavljajo radionuklidi, ki preidejo v človeško telo. V telo vstopajo z zauživanjem hrane in pijače (meso, sadje, zelenjava ...) ter neposrednim obsevanjem. Radionuklid je izotop elementa, ki je nestabilen in zato radioaktiven. Ko radionuklidi pridejo v telo, se lahko kopičijo ali izločajo. Tako pri enem kot pri drugem puščajo svoje sledi in lastnosti v telesu ter vplivajo na zdravje ljudi.

V diplomskem delu je opisan radioaktivni izotop stroncija, stroncij 90. Stroncij 90 v višjih koncentracijah predstavlja nevarnost za zdravje, saj se zaradi podobnosti z elementom kalcijem kopiči v kosteh in zobeh. Zaradi daljše razpolovne dobe (29 let) ostaja v telesu dlje časa in povečuje verjetnost pojava določenih obolenj (kostni rak, levkemija ...). V diplomski so predstavljene meritve oziroma koncentracije stroncija 90 v različnih medijih v Sloveniji za različna leta. V Sloveniji se opravlja monitoring stroncija 90 od leta 1961, in sicer na državnem nivoju in v različnih medijih (živila, živali).

Poleg pregleda literature in rezultatov meritev sem v diplomskem delu preveril mnenje in seznanjenost lokalnega prebivalstva o jedrski energiji in stronciju 90. Izvedena je bila anketa, v kateri je sodelovalo 26 ljudi in je vsebovala 14 vprašanj.

Na podlagi analize odgovorov sem ugotovil, da so vsi anketiranci seznanjeni z obratovanjem nuklearne elektrarne Krško. Prav tako se zavedajo, da obratovanje jedrskih elektrarn predstavlja tveganje in da je tveganje nepotrebno, saj obstajajo drugi viri za pridobivanje električne energije.

Bistvene ugotovite te raziskave so, da večina sodelujočih ni bila seznanjena z elementom stroncijem 90 oziroma z drugimi radionuklidi; da stroncij 90 kljub nizkim koncentracijam predstavlja nevarnost za zdravje ljudi; da bi se moral opravljati monitoring stroncija 90 v ljudeh. Potreba po električni energiji narašča in ta trend se v sledečih letih ne bo spremenil. Vzpostavljajo se vprašanja, kako bomo to oviro premagali in ali je jedrska energija v prihodnosti odgovor na to vprašanje. Jasno je, da se bo morala ta potreba zadovoljiti in vsak način pridobivanja električne energije bo imel svoje prednosti in slabosti.

12. Summary

This diploma work presents the problems of nuclear energy. How it works, the importance of it in the society and the possible dangers of operation of these power plants. Key nuclear disasters that occurred in the last fifty years have been described. How they influenced the further development and thinking about nuclear energy. As well as the emissions and influences that arose due to the catastrophes.

Every day in our lives we are exposed to radiation. From natural radiation from the sun to artificial radiation in medicine. Radiation concentrations depend on the location where we live to the individual's health.

Part of the artificial radiation is presented as radionuclides, which pass into the human body. They enter the human body through ingestion (meat, fruits, vegetables, etc.) and direct irradiation. A radionuclide is an unstable isotope of the element and therefore radioactive. As they enter the human body they have two options. They can accumulate or leave the body. Either way they leave their traces and properties in the body. Which is affecting human health. The diploma work describes the radioactive isotope of strontium, strontium 90. At higher concentrations Strontium 90 represents a health hazard. Because of the similarity with the element calcium, Strontium 90 accumulates in bones and teeth. It has a long half-life (29 years) so it remains in the body for a longer period of time and increases the likelihood of certain disease (bone cancer, leukemia, etc.). Through the diploma concentrations of strontium 90 in various media are presented. In Slovenia, monitoring of strontium 90 has been performed since 1961. Monitoring is carried out at a state level.

In addition to reviewing the literature and the results of the measurements, I examined the opinion and knowledge of the local population about nuclear energy and particular about strontium 90. For this purpose, a survey was conducted, involving 26 people. The survey contained 14 questions.

On the basis of the analysis, I realized that all respondents were acquainted with the operation of the Krško Nuclear Power Plant. They are also aware that the operation of nuclear power plants poses a risk to it and that the risk is not necessary. Because there are other sources for generating electricity. Which are safer.

The essential findings of these studies are that most of the participants are not familiar with the element strontium 90 or other radionuclides. As for strontium 90, despite low concentrations, it poses a threat to human health and should be monitored in humans.

The need for electricity is increasing and this trend will not change over the next years. Questions arise as to how to overcome this obstacle. Is nuclear energy the answer to this question in the future or will the answer be somewhere else.

13. Viri in literatura

Aarkrog, A. (1979). *Environmental Studies on Radioecological Sensitivity and Variability with Special Emphasis on the Fallout Nuclides ^{90}Sr and ^{137}Cs* . Kopenhagen, Riso Library, Riso National Laboratory, str. 12.

Bayer, A., Kaul, A., Reiners, C. (1996). *Zehn Jahre nach Tschernobyl, eine Bilanz, 3. Auflage*. Stuttgart, Fischer Verlag, str. 7.

Bittner, U. (1992). *Über radiometrische und nicht-radiometrische Bestimmungsverfahren für die umweltrelevanten Radionuklide Iod-129 und Strontium-90*. München, TU München, str. 4.

Botsch, W. (1990). *Untersuchungen zur Strahlenexposition von Einwohnern kontaminierter Ortschaften der nördlichen Ukraine*. Hannover, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, str. 5.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 1994: Schnellverfahren zur Bestimmung von Strontium-89 und Strontium-90 im Abwasser. Medmrežje: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/leitstelle_h-sr-89-sr-90-awass-02.pdf (15. 5. 2018)

Bunzl, K. (1996). *Handbuch der Bodenkunde: Radionuklide*. Hannover, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, str. 2.

Chin–Tzu P., Horrocks D., Alpen E. (1980). *Liquid Scintillation Counting*. New York, Academic Press Inc., str. 3.

City population 2018: Fukushima. Medmrežje: <https://www.citypopulation.de/php/japan-fukushima.php> (18. 6. 2018)

Encyclopaedia Britannica Inc. Scintillation counter. Medmrežje: <https://www.britannica.com/science/scintillation-counter> (15. 6. 2018)

Fielitz, U. (1987). *Cäsium-137 und Strontium-90 in Wildtieren, Boden und Vegetation nach Tschernobyl*. Göttingen, Institut für Wildbiologie und Jagdkunde, Univ. Göttingen, str. 1–3, 12–15.

Hari, K. (2014). *Določanje prisotnosti in aktivnosti cezija 137 v gobah s spektrometrijo žarkov gama: Seminarska naloga*. Ljubljana, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, str. 2–3.

Hirose, K. (2012). *2011 Fukushima Daiichi nuclear power plant accident: summary of regional radioactivity deposition monitoring results*. Tokyo, Sophia University, str. 13–17.

Hollemann, A., Wieberg, N. (1985). *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*. Berlin, Gruyter Verlag, str. 8.

Jenčič, I. 2007: Jedrski reaktor. Medmrežje: <http://sss.fmf.uni-lj.si/data/140.pdf> (12. 6. 2018)

Kavasi N., Sahoo S.K., Arae H., Takamasa A., Aono T. (2014). *Strontium-90 contamination, analysis and difficulties related to the Fukushima nuclear accident*. Chiba, National Institute of Radiological Sciences, str. 1-28.

Lieser, K. (1991). *Einführung in die Kernchemie, Bd. 3., neubearbeitete Auflage*. Weinheim, VCH Verlagsgesellschaft GmbH, str. 5–7.

Mangano, J.J. 2013: St. Louis baby tooth survey: contributions and legacy. Medmrežje: http://www.radiation.org/reading/Strontium-90_0813/scan0176.pdf (5. 9. 2016)

Medmrežje 1: http://www.merckmillipore.com/INTL/en/product/Crown-ether/Dicyclohexyl-18-crown-6,MDA_CHEM-811866?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.si%2F (12. 6. 2018).

Medmrežje 2: WWW.NEK.SI (22. 6. 2018).

Medmrežje 3: <https://www.nrc.gov/info-finder/reactors/oc.html> (14. 5. 2018).

Medmrežje 4: <http://www.slora.si/rak-v-sloveniji> (22.5.2018).

Mewis, A. (2004). *Strontium-90 in der Umwelt: Migrationsverhalten im Boden, Transfer in die Nahrungskette und Strahlenexposition in der nördlichen Ukraine*, Hannover, Universität Hannover, str.13.

Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology 2015: Analysis Results Concerning Gamma-emitting Nuclides and Sr-89 and Sr-90. Medmrežje: http://radioactivity.nsr.go.jp/en/contents/6000/5636/24/338_Sr_0912018_e.pdf (20. 6. 2018)

Neu, A., Bayer, A., Steinkopff, T. (2010). *Natürliche und künstliche Radionuklide in unserer Umwelt*. Borkum, TÜV Media, str.3.

Repinc, U., Benedik, L., Jakopič, R. 2014: Sr90 in various food and foodstuffs. Ljubljana, Jožef Stefan Institute – Department of Environmental Sciences. Medmrežje: www.f9.ijs.si/~rok/sraerogel/IAEA-CN-103-119.doc (5. 5. 2018)

Shun'ichi H. (2012). *Journal of Environmental Radioactivity: Environmental Impacts of the Fukushima Accident (Part 1)*, New York, Elsevier, str. 2.

Steinhauser, G., Schauer, V., Shozugawa, K. 2013: Concentration of strontium-90 at selected hot spots in Japan. Medmrežje: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0057760> (12. 6. 2018)

The Nuclear Energy Agency 2002: Chapter 1, The site and accident sequence. Medmrežje: <https://www.oecd-nea.org/rp/chernobyl/c01.html> (4. 6. 2018)

The Nuclear Energy Agency 2002: Chapter 2, The release, dispersion and deposition of radionuclides. Medmrežje: <https://www.oecd-nea.org/rp/chernobyl/c02.html> (4. 6. 2018)

Tokyo Electric Power Company Holdings Inc. 2012: Fukushima Nuclear Accident Analysis Report <Summary>. Medmrežje: http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu12_e/images/120620e0103.pdf (24. 6. 2018)

United States Nuclear Regulatory Commission 2017: Background on the Three Mile Island Accident. Medmrežje: <https://www.nrc.gov/docs/ML0402/ML040280573.pdf> (22. 6. 2018)

United States Patent 1981: Pressurized water reactor. Medmrežje: <https://patentimages.storage.googleapis.com/51/3b/5f/0bbbf109576536/US4278500.pdf> (25. 5. 2018)

Uradni list Evropske unije, Direktiva sveta (Euratom), št. 51/2013, str. 2.

Uradni list Evropske unije, Direktiva sveta (Euratom), št. 52/2016, str. 3.

U.S. Department of health and human services 2014: Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Medmrežje 2: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp159.pdf> (6. 5. 2018).

Fletcher, W., Loutit, J.F., Papworth, D.G. 1966: Interpretation of Levels of Strontium-90 in Human Bone. Medmrežje: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1944812/pdf/brmedj02368-0031.pdf> (12. 6. 2018).

PRILOGA

ANKETNI VPRAŠANIK

Jedrska energija je tema, katera je v zadnjih desetletjih dvignila ogromno prahu. Od protestov proti uporabi jedrske energije do zagovarjanja s strani proizvajalcev je to tema, ki se tiče vsakega posameznika. Kljub dvomih o njeni uporabi se je število reaktorjev v zadnjih letih povečalo. Danes v Evropi deluje 186 aktivnih jedrskih elektrarn, katere proizvedejo 26,4 % vse električne energije v Evropi. V Evropi je stališče o uporabi jedrske energije dvolično. Nemčija želi do leta 2022 ustaviti vse jedrske elektrarne v obratovanju. Slovaška, Francija in Ukrajina po drugi strani načrtujejo gradnjo 5 novih jedrskih elektrarn. Postavljajo se torej vprašanja ali je uporaba jedrskih elektrarn varna, kakšne so možnosti ponovnih jedrskih katastrof, ter kakšno tveganje predstavlja njihovo obratovanje za zdravje ljudi.

Demografija:

Spol:

- Moški
- Ženski

Starostna skupina:

- Do 20 let
- Od 21 do 39 let
- Od 40 do 60 let
- Od 61 in dalje

Najvišja formalna izobrazba

- Osnovna šola
- Srednja šola
- Visoka šola
- Univerzitetna izobrazba
- Magisterij ali doktorat

Povprečna poraba električne energije na prebivalca v Sloveniji znaša 82 KWH. 62 % električne energije je namenjene ogrevanju, ter 19 % k pripravi tople vode.

Ostali delež je namenjen delovanju gospodinjstev, večjim električnim aparatom, ter razsvetljavi.

1. Ali v Sloveniji obratuje jedrska elektrarna?

- Da
- Ne

Od leta 1981 deluje v Sloveniji jedrska elektrarna.

2. Kako se imenuje jedrska elektrarna?

3. Približno kolikšen delež Slovenske potrebe po električni energiji proizvede jedrska elektrarna na letni ravni?

- 5 - 25 %
- 25 – 45 %
- 45 – 65 %

Potreba električne energije narašča sorazmerno s povečevanjem števila prebivalstva. V letu 2015 se je v Evropi proizvedlo 3.07 milijon GWh (gigavat ur) električne energije, kar je 1.3% več od predhodnega leta. 26.4 % električne energije v Evropi je proizvedene s pomočjo jedrskih elektrarn.

4. Ali je uporaba jedrske energije optimalna rešitev za zadovoljevanje električnih potreb?

- Da
- Ne

4.1 Zakaj da?

4.2 Zakaj ne?

5. S katerim načinom proizvodnje električne energije bi lahko zamenjali jedrsko energijo?
- Obnovljivi viri energije (voda, les, biogoriva...)
 - Tekoča goriva (bencin, dizel, kerozin...)
 - Plinasta goriva (zemeljski plin, tekoči naftni plin...)
 - Trdna goriva (les, premog, koks...)

Leta 1986 se je zgodila jedrska katastrofa v Černobilu Ukrajina. Kljub hitrem posredovanju odgovornih oblasti niso morali preprečiti negativni vplivi (kratkoročni kot dolgoročni vplivi na zdravje, kontaminacija hrane, vode, tal, itd.) Obseg negativnih vpliv je segal daleč v Evropo, tako tudi v Jugoslavijo. Kot mogočen rezident bivše republike Jugoslavije ali ste morali v času katastrofe upoštevati kakšne varnostne ukrepe?

- Da
- Ne

Če da katere:

6. Ste seznanjeni z elementom Stroncij 90?
- Da
 - Ne

Stroncij 90 je stranski proizvod pri cepitvi urana in plutonija, kar pomeni da nastaja pri obratovanju jedrske elektrarne. Je eden izmed raznih radionuklidov, kateri se sproščajo v okolje, kot odpadni proizvod. Tako, kot drugi radionuklidi (Jod 131, Cezij 137) je tudi Stroncij 90 radioaktiven, ter predstavlja tveganje za zdravje. Njegova razpolovna doba (čas v katerem razpade polovica atomov radioaktivnega elementa) znaša 29 let.

Stroncij 90 je po Mendelejevi klasifikaciji elementov podoben kalciju, kar omogoča njegov vnos v telo. V telo prihaja z zaužitjem hrane, vode, ter manjši delež s pomočjo prašnih delcev. Zaradi enakosti s kalcijem se Stroncij 90 kopiči v okostju in zobeh, kjer povečuje verjetnost rakovih obolenj (levkemija, kostni rak...). Do 19 leta starosti potrebuje človeško telo višje koncentracije kalcija. Zato so mladostniki posebej izpostavljeni nevarnosti Stroncija 90.

7. Predstavlja Stroncij 90, kljub nizkim koncentracijam v okolju nevarnost za zdravje ljudi?

- Da
- Ne
-

8. Ali bi kljub nizkim koncentracijam Stroncija 90 morali opraviti raziskavo o njegovi koncentraciji v okostju oz. zobeh?

- Da
- Ne

Leta 1993 se je v mestu Oyster Creek, ZDA opravilo raziskovalno delo z namenom ugotoviti koncentracije in vplive Stroncija 90 na otroke. V raziskavi je bilo zbranih 271 mlečnih zob, katere si pregledali na koncentracija Stroncija 90.

Glavni rezultati raziskave so:

- prisotnost raka pred 5 letom starosti je 31% višja od povprečja v ZDA
- umrljivost z rakom pred 10 letom starosti je narasla za 20%
- koncentracija Stroncija 90 je za 21% višja od testiranih zobkov iz sosednjih mest

9. Menite, da se opravlja redni monitoring Stroncija 90 v Sloveniji?

- Da
- Ne

10. Ali bi morali upravljati monitoring Stroncija 90 v Sloveniji?

- Da
- Ne

Od leta 1961 se opravlja redni monitoring Stroncija 90 v Sloveniji s strani Uprave RS za jedrsko varnost.

11. Kateri medij bi imel prioriteto za ugotavljanje koncentracije Stroncija 90 (največ dva)?

- Živila
- Zrak
- Pitna voda
- Tla
- Sedimenti
- Padavine

- Rastline in živali

Hvala za pozornost!!