

REPETISJON - Stråling og Helse - Bombetester og reaktoruhell (Kap 9)

Noen viktige punkt:

- Atmosfære sprengninger
- Underjordiske sprengninger
- Hva skjer (fisjonsprodukter, transuraner, aktiveringsprodukt, bombeplassering, spredning, nedfall)
- Dosebelastningene fra prøvesprengninger (lokale doser, globalt snitt, eksternt og intern bestråling)
- Novaja Zemlja (litt om konsekvensene for Norge)
- Tsjernobyl (hendelsesforløp og knosekvenser)

Doser fra bombesprengninger

- Globalt snitt (i 2000): 0,005 mSv pr. år (Globalt snitt var størst i 1963 med 0,15 mSv pr. år)
- Global middeldose - over all tid, dvs. midlere livstidsdose pr. person: 3,7 mSv

Noen fikk store lokale doser til skjoldbruskkjertelen f.eks.:

- I Nevada (USA) Max. 1 Gy
- Semipalatinsk (USSR) Max. 20 Gy
- Stillehavet (USA) 245 pers. Max. 200 Gy (!!)

Novaja Zemlja utslipp - gjennomsnittsdoser i Norge i løpet av de første 20 årene:

- Samer (menn): 12 mSv
- Samer (kvinner): 6 mSv
- Nordmenn generelt: 0,15 mSv

Tsjernobyl 26. april 1986 - Hva skjedde?

- Testing av en turbingenerator - Uklare testprosedyrer
- Alvorlige feil i bruk av utstyret - Alvorlige brudd på sikkerhetsrutiner
- Lav effekt på kjølevannssystemet - Stadig større energiproduksjon
- Reaktoren løpt løpsk

Etter 4 sek.:

- første energitoppen - 100 ganger normal effekt.
- deler av brenselstoffet sprenges i småbiter.
- den 1000-tonn tunge dekket over reaktoren ble forskjøvet, og alle kjølekanaler ble brutt.
- reaktoren ikke lenger totalt avskjermet fra omgivelsene.

Etter ytterligere 2-3 sek.:

- ny eksplosjon
- radioaktive partikler og gasser slynges ut.
- luft slapp inn, og grafitten tok fyr.

Om konsekvensene av Tsjernobylulykken 26. april 1986 (UNSCEAR 49th session, mai 2000)

Akutte stråleskader og "høye" doseeksponeringer

- 600 nødarbeidere var tilstede første natta. 134 av disse fikk akutte stråleskader
 - 21 personer: 6,5 – 16 Gy
 - 22 personer: 4,2 – 6,4 Gy
 - 50 personer: 2,2 – 4,1 Gy
 - 41 personer: < 2,1 Gy
- 30 reaktoransatte og brannmenn døde i løpet av noen få dager/uker. 28 av disse av stråleskader.
- 600.000 personer (sivil og militære) fikk status som "liquidator".
 - Dekontaminering av reaktorområdet og av veier, og bygging av sarkofag og landsby for reaktorpersonell. Ferdige 1990.
 - Gjennomsnittlig doser for perioden 1986-1987: ca 100 mSv;
og for perioden 1988-1989: ca 20 mSv

Evakuering og doser til allmennbefolkning

- Evakuering av ca 220.000 mennesker fra området rundt Tsjernobyl i 1986.
- Forflytning av ca 250.000 mennesker etter 1986. (ut fra dosekrav om at alle med forventet livstidsdoser over 350 mSv skulle forflyttes).
- Iod-131 (1.200 PBq), halveringstid 8 dager.
En del personer fikk høye doser (≈ 2 Gy) til skjoldbruskkjertelen.
- Cs-134 og Cs-137 (85 PBq - halveringstid 30 år)
Gjennomsnittsdose i kontaminerte områder i løpet av 10 år: 10 mSv (1 mSv/år)

TSJERNOBYL ulykkens helsemessige konsekvenser for Russland, Hvite Russland og Økning i skjoldbruskkjertelkreft hos barn

- pr. 2006: 4000 tilfeller, 19 døde
- Kan muligens skyldes screening effekt
- Har tidligere ikke observert strålerelatert skjoldbruskkjertelkreft med kort latenstid
- **Ingen økning i leukemi** i løpet av 14 år (leukemi har en kort latenstid på 2-10 år)
- **Ingen andre strålerelaterte skader** enn (muligens) skjoldbruskkjertelkreft
- **Alvorlige psykiske reaksjoner**

TSJERNOBYL ulykkens konsekvenser for NORGE

- Mest nedfall der det var regnvær: Midt-Norge og Trøndelag
- Iod (I-131) dominerte de første dagene, men med $T_{1/2} = 8$ dager avtok aktiviteten raskt
- Få dyr på beitet → lite radioaktivt iod til mjølka
- Sr-90: under 1% av nedfallet (Sr-90 utgjorde om lag 50% av bombenedfallet på -50 og -60 tallet)
- Cs-137 og Cs-134: størst helsemessig betydning i starten;
NÅ (i 2007) lite Cs-134 igjen. Cs-137 er stort sett den eneste med betydning i dag.
- Cesiumisotopene Cs-137 og Cs-134 kommer lett inn i næringskjedene.
- Dosebelastningen til den norske befolkningen skyldes dels ekstern bestråling - ca 70 % - fra nedfall på bakken, og dels internbestråling - ca 30 % - fra radioaktive matvarer.
- **Tilleggsdoser til befolkningen i Norge som følge av Tsjernobylulykken:**
 - Middeldose i løpet av 50 år er estimert til 2 mSv totalt pr person, dvs ca 0.04 mSv pr år i 50 år.
 - Samer var ekstra utsatt pga deres spesielle kosthold
Middeldose i løpet av 50 år for samer er estimert til 20 mSv totalt, dvs ca 0.4 mSv pr år i 50 år.
Høyeste årsdosene til samene var i 1988 og er beregnet til 2-3 mSv.
- **Norske tiltak vedrørende Tsjernobyl**
 - Fra et forskningsmessige synspunkt - lært mye om opptak av radioaktive nuklider
 - Fra et helsemessig synspunkt – trolig bortkastede penger!
 - Nedforing av husdyr før de ble slaktet (bl.a. berlinerblått)
 - Aktivitetsgrenser for matvarer på 600 Bq/kg
 - For å få en livstidsdose på 1 mSv må en spise ca 110 kg mat med 600 Bq/kg av Cs 137

• **Tiltaksgrenser og Kostholdsråd**

Det ble satt tiltaksgrenser for Cesium i matvarer

- I perioden 1986-1994 var de 6000 Bq/kg for tamrein, vilt og ferskvannsfisk.
- Nå:

Tamrein, Vilt og Ferskvannsfisk	3000 Bq/kg
Mjølke og barnemat	370 Bq/kg
Andre matvarer	600 Bq/kg

Helsedirektoratet /Mattilsynet utarbeidet kostholdsråd.

- Disse var spesielt mynnta på reindriftsutøvere og personer som spiste mye ferskvannsfisk i områder med mye nedfall
- Anbefaler max 80 000 becquerel pr. år.
- Gravide, ammende og barn under to år, max 40 000 becquerel pr. år.
- Helserisikoen ved slike mengder er svært små!
- Ingen bør spise mat som inneholder mer enn 20 000 becquerel pr. kg.

Mat-tilberedningen kan påvirke innholdet av radioaktive stoffer

Koking reduserer radioaktiviteten (du må slå av kokevannet for å bli kvitt de radioaktive stoffene)

- Dele **kjøttet** i små biter og koke det i rikelig med vann - redusere med ca. 60%
- Koking av **fisk** i skiver - redusere radioaktiviteten med ca. 25 %.

Tradisjonell salting av kjøtt og fisk over lenger tid reduserer radioaktiviteten

- Dette kan gi en reduksjon på 50-90 prosent.
- Effekten er størst ved lakesalting.

Marinering reduserer radioaktiviteten

Bløtlegging reduserer radioaktiviteten

- Felles for alle metoder er at virkningen øker mengde væske og med tid.
- Gjentatte behandlinger og kombinasjon av metoder gir enda større effekt.
- **Steking, røking og tørking** påvirker **IKKE** radioaktiviteten nevneverdig.

Radioaktivitet i matvaren	Forbruk av reinkjøtt og ferskvannsfisk	
600 Bq/kg	100 kg per år	10 måltider i uka
1 000 Bq/kg	60 kg per år	6 måltider i uka
2 000 Bq/kg	30 kg per år	3 måltider i uka
3 000 Bq/kg	20 kg per år	2 måltider i uka
4 000 Bq/kg	15 kg per år	3 måltider hver 14. dag
6 000 Bq/kg	10 kg per år	1 måltid i uka
10 000 Bq/kg	6 kg per år	1 måltid hver 14. dag
15 000 Bq/kg	4 kg per år	1 måltid hver 3. uke
20 000 Bq/kg	3 kg per år	1 måltid i måneden

Konsekvenser for sau- og reins næringa

Sauenæringa

- **1986-2005:** nedfôra totalt ca. 2 millionar sauer
totalkostnad på ca. 230 millionar kr
- 1986: 320 000 sau nedfôra,
100 000 sauer kassert.
- 2005: 15 800 sau nedfôra

Antall sauer på nedfôring varierer fra år til år (pga varierende soppmengder.)

Reindriftnæringa

- Utgiftene til nedfôring de siste åra har vært ca 2,5-3 millioner kr pr år.
- ca 1 tonn kjøtt kassert årlig.
- 2004/2005: første sesongen det ikke måtte gjennomføres nedfôring.
- 2005/2006: noe nedfôring nødvendig

REPETISJON Stråling og Helse - Stråling og miljø, Kjernekraft (Kap 13)

Kjernekraft

- En fissil kjerne fanger inn ett nøytron
- Kjernen fisjonerer (deler seg) og frigjør 2-3 hurtige nøytroner, som igjen kan fanges inn av andre fissile kjerner, som igjen kan fisjonere og frigjøre 2-3 hurtige nøytroner
- De to fisjonsfragmentene støtes fra hverandre med stor kraft.
Denne energien går over til varme som blir fjernet fra reaktoren med et kjølemiddel.
Varmen fra kjølemiddelet kan benyttes til å produsere damp som driver en turbin som er koplet til en elektrisk generator.

Kritisk reaktor: ett nøytron fra hver fisjon fører til en ny fisjon

Underkritisk reaktor: mindre enn ett nøytron fra hver fisjon fører til en ny fisjon - kjedereaksjonen dør ut

Overkritisk: flere enn ett nøytron fra hver fisjon fører til en ny fisjon → reaksjonshastigheten øker
→ temperaturen i reaktoren øker → reaktoren vil smelte eller eksplodere om den ikke gjøres kritisk eller underkritisk

Fissilt brensel - forekomst og produksjon

Uranforekomst

U-238 forekomsten dominerer fullstendig

U-238 er ikke-fissilt!

U-238 fanger lett opp hurtige nøytroner

U-238 fanger vanskeligere opp langsomme/termiske nøytroner

U-235 er den eneste naturlige forekommende isotop som er fissilt

U-235 utgjør ca 0,72 % av all uran

U-235 fanger lett opp langsomme/termiske nøytroner

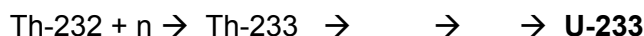
U-235 fanger vanskeligere opp hurtige nøytroner

Brenselstavene i en (uran)reaktor består i hovedsak av U-238.

For å unngå at U-238 fanger inn de hurtige nøytronene – og dermed stopper kjedereaksjonen - bremses nøytronene (vanligvis) ned slik at de vanskelig fanges inn av U-238 og følgelig kan fanges inn av U-235.

Produksjon av fissilt brensel

- Fissilt brensel kan produsere i kjernereaktorer
- Kjernen er omgitt av en kappe med U-238 eller Th-232
- Hurtige nøytroner som ikke fanges inn av brenselet kan fanges inn av kappen og det kan dannes fissilt Pu-239 eller U-233



Pu-239 kan skilles ut / renframstilles ved kjemiske metoder uten kostbart utstyr for isotopseparasjon (U-238/U-233/U-235). Det er følgelig både enklere og billigere å bruke Pu-239 som sprengstoff i fisjonsvåpen.

Det skilles mellom to hovedtyper av Kjernereaktor (Termiske og Hurtige reaktorer)

Termiske reaktorer

- initierer fisjon med *termiske (langsomme) nøytroner*
- benytter *moderator* til å bremse ned hurtige nøytroner som dannes ved fisjon
- termiske nøytroner absorberes lettere av det fissile brenselet
- benytter naturlig, ikke-anriket uran, som brensel

Hurtige reaktorer

- initierer fisjon med *hurtige nøytroner*
- benytter *hurtige nøytroner* direkte uten nedbremsning, dvs *ingen moderator*

- hurtige nøytroner går lettere tapt
- forutsetter høy konsentrasjon av fissilt brensel (15-20 % ^{235}U anrikt uran)

Hovedkomponenter i en kjerne reaktor

- Brenselement
- Kontrollstaver
- Moderator
- Kjølemiddel
- Strålingsskjerming
- Reaktorinnsluting
- Styrings og kontrollutstyr

Brenselement

- fissilt brensel, vanligvis ^{235}U (kan også bestå av ^{233}U , ^{239}Pu)
- UO_2 i spesielle legeringer
- Ofte 200-300 brenselstaver (à 2-3 kg) i hvert brenselement
- En stor reaktor har noen hundre brenselement
- ca 1/3 skiftes hvert år (reprosessering = fjerning av fisjonsprodukt, erstatning av forbrukt uran)

Kontrollstaver

- for regulering av reaksjonshastigheten
- effektiv nøytronabsorbator, vanligvis Bor eller Kadmium

Moderator

- brukes i *termiske* reaktorer for å bremse nøytronene
 - vann (forutsetter anrikt uran, 2-3 % ^{235}U)
 - tungtvann (ok med naturlig uran)
 - grafitt (ok med naturlig uran)

Kjølemiddel

- for transport av fisjonsenergi ut av reaktoren (primærkrets – varmeveksler – sekundærkrets)
 - vann; *trykkvann* (150 atm/300°C) *kokvann* (70-80 atm/300 °C)
vannmodererte bruker vanligvis samme vann for moderering og kjøling
 - CO_2 , He_2 ; grafittmodererte er ofte gasskjølt (20-40 atm/400-600 °C)
 - Na_{liq} ; *hurtige reaktorer* er ofte Na-kjølte

Reaktortank

- 15-20 cm tykke stålvegger
- må tåle - høyt trykk - høy temperatur - intens nøytronstråling

Strålingsskjerming

- utenfor reaktortanken
- vegger som absorbere nøytron og (-stråling)

Reaktorinnsluting

- tett hus utenfor strålingsskjermingen
- skal stoppe enhver lekkasje av radioaktiv gass eller væske

Styrings og kontrollutstyr

- for kontroll av reaksjonshastigheter og forhindring av uhell
- Nedsmelting av kjernen, "Kina syndromet", ved noen tusen grader
- Eksplosjon i kjølesystem eller reaktortank
- kontrollstaver skal sendes helt inn i kjernen ved eventuelle uhell
- ingen fra for kjernefysisk eksplosjon siden konsentrasjon av fissilt materiale er relativt lav
 - termisk reaktor: 0,7 – 3 % fissilt materiale
 - hurtige reaktor: ca 20 % fissilt materiale
 - bomber: over 90 % fissilt materiale

Reprossesering

- En måte å behandle brukt reaktorbrensel på er ved såkalt reprossesering
Brukt brensel inneholder
 - ca 1 % ubrukt U-235
 - mer enn 90% av den opprinnelige U-238 mengden
 - 0,5-1,0 % Pu-239 og Pu-241
 - små mengder Np-237
 - andre tyngre fisjonsprodukter
- Ved reprossesering gjenvinnes spaltbart uran (U-235) og plutonium (Pu-239) fra brukt brensel – ved kjemisk separasjon av de ulike komponentene. En skiller avfallet fra uran og plutonium slik at en på nytt kan bruke det gjenværende fissile uranet og plutoniet. Det er omdiskutert hvorvidt dette er en økonomisk prosess.
- Hvilke spaltingsprodukter en får avhenger bl.a av hvor lenge brenselstavene har vært i reaktoren. Kontinuerlig bombardering med nøytroner fører til dannelse av aktiveringsprodukt lenger og lenger opp i atomnummer.
- Brenselet spaltes i
 - **Uran** (UO₂)
 - **Plutonium** (Pu O₂)
 - **Andre Spaltingeprodukter** (høyaktivt avfall – lagres midlertidig noen år før det overføres til fast form)
- Reprossesering av kjernebrensel foregår bl.a i Sellafield.

Kjernkraft avfall, utslipp, behandling og lagring

- Lavaktivt avfall
- Langlivet og middelsaktivt avfall
- Høyaktivt avfall
- Målet med lagring er å bringe avfallet i en form som egner seg for permanent langtidslagring
- Kravene til sikring og lagring av radioaktivt avfall overgår langt de kravene som stilles til annet industrielt avfall.
- Volumet av avfallet er lite sammenliknet med avfallsmengder fra kull og olje. (Cs-137 og Sr-90 vil bidra med ca 99,7 % av aktiviteten etter 20 år.)
- Isotopsammensetningen bestemmer hvor problematisk avfallet er.
- Risikoen knyttet til radioaktivt avfall avtar med tiden - det gjelder ikke for kjemisk avfall.

Energiproduksjon på 200 000 kW timer

- | | |
|---|---|
| • 1 g He-4 | Fusjon (dannelse av He-4 ved fusjon av deuterium) |
| • 6 g uran | Fisjon (spalting av uran) |
| • 25 tonn kull | Forbrenning |
| • 800 000 m ³ vann m/fall på 100 m | Vannkraft |

Radioaktivitet i havet

- Mesteparten av radioaktiviteten i havet skyldes naturlig forekomst av radioaktive isotoper.
- Atomvåpensprengninger og kjernekraftvirksomhet har tilført havet en del radioaktive isotoper.
- Radioaktiviteten varierer i de ulike havområdene, primært pga variasjon i naturlig forekomst av radioaktive isotoper.
- Så godt som all aktivitet (96%) i havvann skyldes naturlig forekomst av Kalium-40 (ca 11,5 Bq/l)
- Menneskeaktivitet har økt midlere aktivitet med ca 1 Bq/l, dvs 10 % økning.
- Snittaktiviteten til havvann er ca 12,5 Bq/l

Anrikingsfaktorer (CF) for fisk i ferskvann og sjøvann.

$$CF = \frac{C_{\text{organisme}}}{C_{\text{vann}}}$$

$C_{\text{organisme}}$ = konsentrasjonen i organismen, f.eks antall Bq Cs-137 pr kg fisk
 C_{vann} = konsentrasjonen i vannet, f.eks antall Bq Cs-137 pr kg vann