

UTGIVER Institutt for energiteknikk Avdeling for Kjemi og Geologi Boks 40 2007 KJELLER		DOKUMENT NR. IFE/KR/E-86/882	
		DATO September 1986	
PROSJEKTNR./KONTRAKT NR.		OPPDRAAGSGIVER	
PROSJEKTNAVN		OPPDRAAGSGIVERS REF.	
TITTEL OG UNDERTITTEL ANVENDELSE AV PNA-TEKNIKK TIL MÅLING AV FLERFASESTRØM			
FORFATTER(E) Løvheiden, G.; Andersen, E.; Garder, K.; Rambak, J.P.		GODKJENT <i>Kåren Garder</i>	
REFERAT Aktivering med pulsede nøytroner har vært brukt til måling av massestrøm av vann/dampfase. Teknikken byr på interessante muligheter også når det gjelder monitorering av flerfasestrømmer av hydrokarboner. Begge reaksjonene $^{12}\text{C}(n, p)^{12}\text{B}$ og $^{12}\text{C}(n, n')^{12}\text{C}$ gir utbytte av 4.4 MeV gammastråling som et mål for karbonmengden. Imidlertid vil de korte levetidene komplisere måling av strømningshastighet. Finnes svovel i oljen, gir reaksjonen $^{34}\text{S}(n, p)^{34}\text{P}$ en bedre mulighet til bestemmelse av strømningshastighet.			
STIKKORD Nøytronalivering; flerfasestrøm			
KLASSIFIKASJON OG/ELLER EMNEGRUPPE Activation analysis; neutron reactions; pulsed neutron techniques; two-phase flow			
INDEKSSYSTEM/TESAURUSTERMER			
ANDRE BIBLIOGRAFISKE OPPLYSNINGER		ISSN 0333-2039	
		ISBN 82-7017-080-1	
		ANTALL SIDER 1+4	
TILGJENGELIGHET: DETTE DOKUMENT/DENNE SIDE Åpen / Åpen		SPRÅK: DOKUMENT/SAMMENDRAG Norsk / Norsk	
DISTRIBUERES AV Institutt for energiteknikk Boks 40, 2007 KJELLER		MOTTAKERS NOTATER	
PRIS			

Anvendelse av PNA-teknikk til måling av flerfasestrøm

1. Innaledning

I PNA-teknikken (Pulsed Neutron Activation) brukes en pulset ytre nøytronkilde til å indusere radioaktivitet i et strømmende medium. Måling av den induserte aktiviteten kan utnyttes til å finne hastighet og tetthet i mediet.

Måling av strømningshastigheter ved nøytronmerking ble først rapportert¹⁾ av Boswell og Pierce (1971). Senere har teknikken vært brukt til å kalibrere og måle strømming av flytende natrium i sekundærsystemet til Experimental Breeder Reactor II på Argonne National Laboratory (ANL)²⁻⁷⁾. Måling av både én- og to-fase vannstrømmer merket med reaksjonen $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$ har vært gjort både ved ANL⁸⁻¹³⁾ og ved Rennselaer Polytechnique Institute¹⁴⁻¹⁸⁾. PNA-teknikken har også vært anvendt til å måle massestrøm ved såkalte Loss-of-Fluid Tests (LOFT) ved Idaho National Engineering Laboratory¹⁹⁾

PNA-teknikken har hittil vært mest anvendt i forskning innenfor området reaktorsikkerhet, noe som kommer klart frem i den litteratur som finnes om emnet. Imidlertid vil slik instrumentering for direkte måling av flerfasestrømmer av gass, olje og vann i rørinstallasjoner av forskjellige slag både på land og i havet, ha et stort potensiale når det gjelder kontroll og monitor-systemer i petroleumsindustrien.

I dag er ikke slikt utstyr kommersielt tilgjengelig og monitorering av flerfasestrømmer gjøres vanligvis ved først å separere fasene og deretter gjøre målinger på de separerte fasene.

Nøytronaktiverings-teknikk er særlig interessant for måling av flerfasestrømmer fordi aktiviseringsgraden er spesifikk for forskjellige elementer, noe som tillater identifikasjon av fasene i strømmen. Videre er nøytronpenetrering stor sammenlignet med veggtykkelsen av rør.

En annen fordel med PNA-teknikken er at nøytronfluksen blir generert utenfor det strømmende medium, og den induerte aktiviteten måles også utenfor. Denne egenskap gir mulighet for en representativ og kontinuerlig analyse av det flytende medium uten å forstyrre strømningsmønsteret med å ta prøver for analyse.

2. Beskrivelse av PNA-teknikken.

2.1 Ekspérimentell oppstilling og dataanalyse

PNA-teknikken er en spesialisert "tracer"-teknikk der radioaktive elementer blir dannet i det strømmende medium gjennom nøytronaktivering av væsker. Nøytronaktiveringen blir gjort av en pulset nøytronkilde plassert utenfor den strømmende væsken. Et stykke bort i strømrretningen er plassert detektorer som måler gammastrålingen fra de radioaktive elementene. Figur 1 viser oppstillingen med rør, nøytronkilde og detektor. Detektoren er forbundet med en manglekanal-analysator som i en multiskalerings-teknikk lagrer tellingene $C(i)$ som registreres av gamma-detektoren i et tidsintervall $t(i)$ etter nøytronpulsen. Et eksempel på en slik fordeling er også vist i Figur 1. Den målte fordelingen kan så brukes til å beregne en gjennomsnittlig transittid F , og av dette kan gjennomsnittlig hastighet F beregnes,

$$V = Z / F. \quad (1)$$

Her er Z_0 avstand mellom kilde og detektor. Man kan ta F som tiden $t(i)$ for hvilken $C(i)$ har sitt maksimum, eller bestemmen ved å ta medianen av $C(i)$ -fordelingen. (Merk at $C(i)$ her står for tellinger som er korrigert for bakgrunn og normal radioaktiv desintegrasjon).

En slik enkel analyse gir bare tilstrekkelig nøyaktige hastighetsmålinger for enkle strømningsforhold. For mer komplekse strømmer må en noe mer avansert databehandlingsteknikk brukes.

Hastigheten er da gitt ved

$$v = Z_0 \frac{\int_i \frac{1}{t_i^2}}{\int_i \frac{1}{t_i} C(i)} \quad (2)$$

Relasjon (2) er utledet¹³⁾ av Kehler. Legg merke til $1/t^2$ vektleggingen av tellingene $C(i)$. Også andre måter å vekte de målte tellingene på er brukt. Perez-Griffo et al.¹⁹⁾ bruker en $1/t$ vektlegging. Mer fenomenologisk har en relasjon

$$v_M = Z_0 \frac{\int_i \frac{1}{t_i^2} C(i)}{\int_i \frac{1}{t_i^{n-1}} C(i)} \quad (3)$$

vært foreslått¹³⁾. Ved justering av eksponenten "n" kan man løse på kravene at bestrålingsområde dZ og måleområde ΔZ skal være mye mindre enn avstanden Z_0 mellom nøytronkilde og detektor (se Figur 1). Det er imidlertid vanskelig å gi noen fysisk tolkning av eksponenten n for $n > 2$. En diskusjon av disse forhold er gitt²⁰⁾ av Achard og Delhaye.

2.2 Virkning av ikke-uniform radiell aktivitetsfordeling

Hastighetsrelasjonene som er gitt i avsnitt 2.1 er strengt gyldig bare for små rør-diametre (10 cm). For større diameter vil aktiviteten ikke lenger være uniform. Dette er vist i Figur 2, som sier at aktiviteten midt i røret er mindre enn ved rørvæggen. Siden væsken ved rørvæggen beveger seg langsommere enn i sentrum av røret, vil dette føre til at den målte hastigheten vil være mindre enn den virkelige.

En enkel analytisk modell som beskriver vekselvirkningen mellom nøytroner og absorlator er beskrevet av Ølgaard, ref.²¹⁾. Fordi en strøm med olje og vann har høy hydrogenkonsentrasjon vil strømmen effektivt bremse nøytronene. En kvantitativ analyse av strømningsparametrene vil derfor kunne forbedres med en god model beskrivelse av kollisjoner mellom nøytroner og strømpartiklene.

2.3 Virkning av nøytronkilde og detektor-kollimering

Den grunnleggende PNA-ligningen (2), er utledet under følgende forutsetning: $dZ \ll Z_0$ og $\Delta Z \ll Z_0$ (se Figur 1). I Figur 3 vises en eksperimentell situasjon hvor denne betingelse ikke er oppfylt. Skjønt den opprinnelige aktivitetsfordeling er symmetrisk om kilden, så vil en dårlig kollimert nøytronkilde (eller detektor) føre til at de målte hastighetene blir for store. Dette kan klargjøres av følgende betraktninger: Vi beregner gjennomsnittshastigheten for to aktivitetsskiver, opprinnelig plassert symmetrisk om kilden. Disse to skivene vil ankomme en tid Δt før og etter "sann" tid t som kan representeres av en aktivitetsskive like foran nøytronkilden. Gjennomsnittlig hastighet for de to aktivitetsskivene er

$$v'_M = \frac{Z_0}{2} \left(\frac{1}{t+\Delta t} + \frac{1}{t-\Delta t} \right) = \frac{Z_0}{t - (\Delta t)^2/t} > \frac{Z_0}{t}$$

Her er Z_0/t hastigheten til den aktivitetsskiven som befant seg rett foran nøytronkilden idet den "fyrte".

En ser at effekten av dårlig kollimering delvis blir kompensert av det forhold at den radielle aktiviteten ikke er uniform (avsnitt 2.2).

I dataanalysen kan effekten av ikke-uniform radiell aktivering og dårlig kollimering tas hensyn til, men dette fører til introduksjon av flere parametre i analysen.

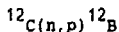
3. Nøytron-indusert aktivitet

PNA-teknikkens anvendbarhet avhenger sterkt av at brukbare aktiviteter kan induseres i de faser som det er ønskelig å måle. For vann/damp-fasen har merking av oksygenkjernene via reaksjonen $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$ vært brukt. Sluttkjernen ^{16}N beta-desintegrerer med en halveringstid på 7.2 s i 68 % av tilfellene til et 6.13 MeV - nivå i ^{16}O . Dette nivået faller så til grunnstillingen i ^{16}O med utsendelse av en gammastråle med energi på 6.13 MeV. Et eksempel på en måte fordeling er vist i Figur 4. Bildet er tatt fra Perez-Griffo et al.¹⁹⁾.

For monitorering av gass og olje er det nærliggende å se på reaksjoner mellom nøytroner og carbon.

Vi vil her peke på to prosesser som vil gi målbar gammastråling assosiert med tilstedeværelse av carbon i væskestrømmen.

Først nevnes reaksjonen



Her dannes radioaktive ^{12}B -kjerner, som med en halveringstid på 20.4 ms under utsendelse av beta-stråling henfaller til ^{12}C . Imidlertid går hele 97 % av henfallet direkte til grunnstillingen i ^{12}C , og reduserer utbyttet av gammastråling (4.40 MeV) assosiert med tilstedeværelsen av ^{12}C i mediet.

Uelastisk nøytronspredning $^{14}\text{C}(n,n')^{12}\text{C}$ gir større utbytte av gammastråling. Det differensielle virkningstverrsnitt for popu-
lering av 4.4 MeV-nivået varierer fra 60 til 10 mb/sr mellom
spredningsvinklene $0^\circ \rightarrow 180^\circ$, [ref. 22)].

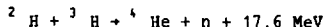
Felles for begge reaksjonene er at de involverte levetidene er
svært korte, slik at måling av normale strømningshastigheter
(5-20 m/s) ikke kan utføres som beskrevet for vann/damp-fasen.

Imidlertid vil måling av for eksempel intensiteten av 4.4 MeV
gammalinjen fra reaksjoner mellom nøytroner og carbonkjerner gi
et mål for mengden av carbon som befinner seg i bestrålings-
sonen. Ved å bruke en pulset nøytronkilde fås et bilde av
hvordan denne carbonmengden varierer i tid. I en kombinasjon med
målinger av vann/damp - fasen skulle det kunne etableres et
system for monitorering av olje/gass-fasen.

Dersom oljen inneholder svovel vil (n,p)-reaksjoner på svovel-
isotopen ^{34}S (4.21% relativ hyppighet) gi årsak til gamma-
stråling på 2.127 MeV. Halveringstiden på moderkernen (^{34}P) er
12.4 s. I spesielle tilfeller vil dette gi mulighet til hastig-
hetsmåling av olje/gass-strømmer.

4. Nøytronkilder

Nøytrongeneratorer produserer nøytroner ved reaksjonen



Med de prosjektilenergier som vanligvis brukes (~150 keV) blir
energien til nøytronet i denne prosessen ca. 14 MeV. Kommersielt
finnes generatorer som leverer opptil 10^{12} nøytroner per sekund.

For å anvende PNA-teknikk er det imidlertid nødvendig å ha en nøytrongenerator som kan levere et stort antall nøytroner innenfor et kort tidsrom. Med en avstand mellom kilde og detektor på 1 m og med strømhastigheter opp til 20 m/s vil en pulslengde på 2.5 ns gi et bidrag til målesikkerheten på 5 %. Ved LOFT-forsøkene¹⁹⁾ ble det brukt 14 MeV neutron generatorer utviklet ved Sandia-laboratoriene i New Mexico²³⁾. Disse generatorene gir $\sim 1.3 \times 10^{10}$ nøytroner per puls med en pulslengde på 1 ns.

Kommersielt tilgjengelig finnes imidlertid foreløpig bare generatorer som har $\sim 1/100$ av dette utbyttet. Dette kan delvis kompenseres ved å anvende et batteri bestående av flere generatorer symmetrisk plassert omkring væskestrømmen.

Sluttmerknader

PNA-teknikk vil være et interessant hjelpemiddel til monitorering av flerfasestrømmer. Imidlertid er videre utviklingsarbeider nødvendig for å finne en tilfredsstillende teknikk når det gjelder spesielt måling av hydrocarboner ved hjelp av pulsede nøytroner.

Figurtekster

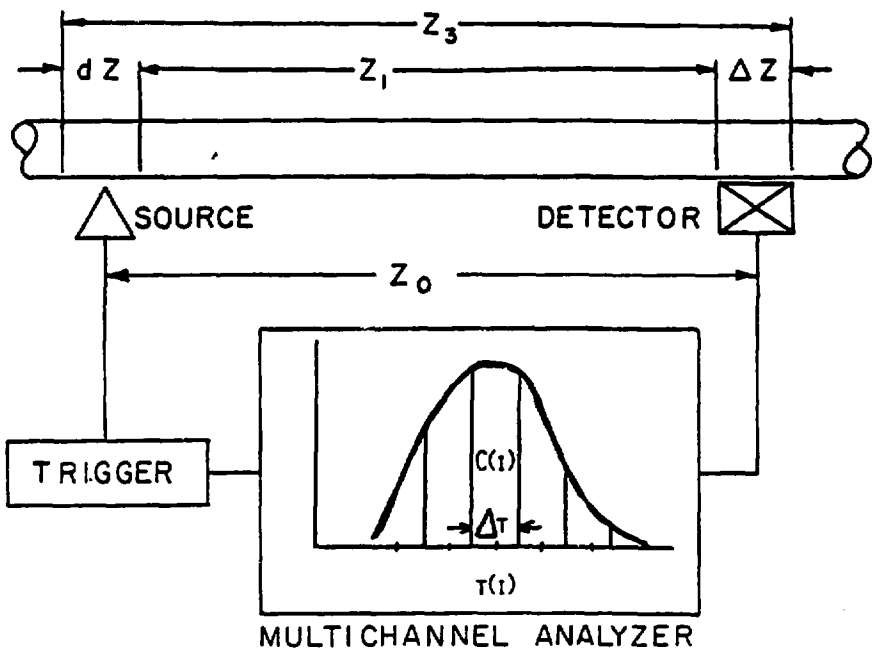
- Fig. 1. System for strømmåling med pulsede nøytroner. Bildet er tatt fra ref. ¹³⁾.
- Fig. 2. Radiell fordeling av nøytroner i caviteten. Bildet er tatt fra ref. ¹³⁾.
- Fig. 3. Situasjon med dårlig nøytronkollimering. Bildet er tatt fra ref. ¹³⁾.
- Fig. 4. Eksempel på målt fordeling med multiskalerings-teknikk. Bildet er tatt fra ref. ¹⁹⁾.

Referanser

1. C.R. Boswell og T.B. Pierce, 'Modern Development in Flow Measurements, PPL Conf. Publ. 10(1971)264.
2. C.C. Price, J.I. Sackett, R.N. Curran and C.L. Livengood, 'Flow Measurements in the EBR-II Secondary System Using the Pulsed Neutron Technique', ANL-RDP 48(1976).
3. C.C. Price, P. Kehler and J.I. Sackett, 'Fluid Flow Measurements at EBR-II, Using Pulsed Neutron Activation', Trans. Am. Nucl. Soc., 23,117(1976).
4. P. Kehler, 'Feasibility of Calibration of Liquid Sodium Flowmeters by Neutron Activation Techniques', ANL-CT-76-17(1976).
5. P. Kehler, C.C. Price, G.A. Forster, J.I. Sackett and R.N. Curran, 'Measurement of Liquid Sodium in the Secondary System of the EBR-II by a Pulsed Neutron Activation Technique', ANL-CT-77-25(1977).
6. C.C. Price, J.I. Sackett, P. Kehler, R.N. Curran, G.A. Forster and C.L. Lovengood, 'Application of the Pulsed-Neutron-Activation Technique for Flow Measurements at EBR-II,' ANL-77-52(1977).
7. G.A. Forster and P. Kehler, 'Sodium Flow Calibration Using a Pulsed Neutron Activation Technique on a 400 mm (16 inch) Pipe at LMEC', ANL-CT-78-9(1977).
8. P. Kehler, 'Two-Phase Flow Measurement by Pulsed Neutron Activation Techniques', ANL-NUREG-CT-78-17(1978).
9. P. Kehler, 'Two-Phase Flow Measurement by Pulsed Neutron Activation Techniques', ASME Publication H00121, Measurements in Polyphase Flows (1978).

10. P. Kehler, 'Pulsed Neutron Measurement of Single- and Two-Phase Liquid Flow', *IEEE, Trans. on Nuclear Science*, Vol. NS-26, No. 1, 1627(1979).
11. P. Kehler, 'Pulsed Neutron Activation Techniques for the Measurement of Two-Phase Flow', *Proc. of the USNRC Review Group Conference on Advanced Instrumentation for Reactor Safety Research*, NUREG/CP-0007 (1979).
12. P. Kehler, 'Accuracy of Two-Phase Flow Measurement by Pulsed Neutron Activation Techniques', *Multiphase Trans. Fund., Reactor Safety Application*, 5, 2483, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, D.C. (1980).
13. P. Kehler, 'Measurement of Slow Flow Velocities by the Pulsed Neutron Activation Technique', *Proc. of the USNRC Review Group Conference on Advanced Instrumentation for Reactor Safety Research*, NUREG/CP-0015 (1980).
14. R.C. Block, M.L. Perez-Griffo, U.N. Singh and R.T. Lahey, Jr., ^{16}N Tagging of Water for Transient Flow Measurements', *Trans. Am. Nucl. Soc.*, 27,682(1977).
15. M.L. Perez-Griffo, R.C. Block and R.T. Lahey, Jr., ^{16}N . Tagging for Two-Phase Mass Flow Measurements', *Trans. Am. Nucl. Soc.*, 30,500(1978).
16. M.L. Perez-Griffo, R.C. Block and R.T. Lahey, Jr., 'Determination of Mass Exchange Rates in ^{16}N -Tagged Slug Flow', *Trans. Am. Nucl. Soc.*, 32,984(1979).
17. M.L. Perez-Griffo, R.C. Block and R.T. Lahey, Jr., 'Basic Two-Phase Flow Measurements Using ^{16}N Tagging Techniques', *Proc. of the ANS/ASME/NRC International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal-Hydraulics*, NUREG-CP-0014, 2,923(1980).
18. M.L. Perez-Griffo, R.C. Block and R.R. Lahey, Jr., 'Non-Uniform Tagging and Flow Structure Effects in PNA Measurements'. *Trans. Am. Nucl. Soc.*, 35,637(1980).

19. M.L. Perez-Griffo, R.C. Block and R.T. Lahey, Jr., 'Measurement of Flow in Large Pipes by the Pulsed Neutron Activation Method', Nucl. Sci. and Eng., 22, 19-33(1982).
20. J.L. Achard og J.M. Delhays, Modelling Aspects of the PNA Technique for Flow Rate Measurements, Thermal-Hydraulics of Nuclear Reactors, Vol. II, The Second International Meeting on Nuclear Reactor Thermal-Hydraulics Santa Barbara, Calif., USA, Jan. 11-14, 1983.
21. P.L. Ølgaard, An Analytical Model for a Pulsed Neutron Gauge, Department of Electrophysics, The Technical University of Denmark, September 1983.
22. D. Spaargaren og C.C. Jonker, Nucl. Phys. A161(1971)354.
23. G.E. Rochan, Sandia National Laboratories, SAN-81-D179(1981).



PNA MEASURING SYSTEM

Fig. 1

RADIAL ACTIVITY DISTRIBUTION
AT TIME = 0 sec

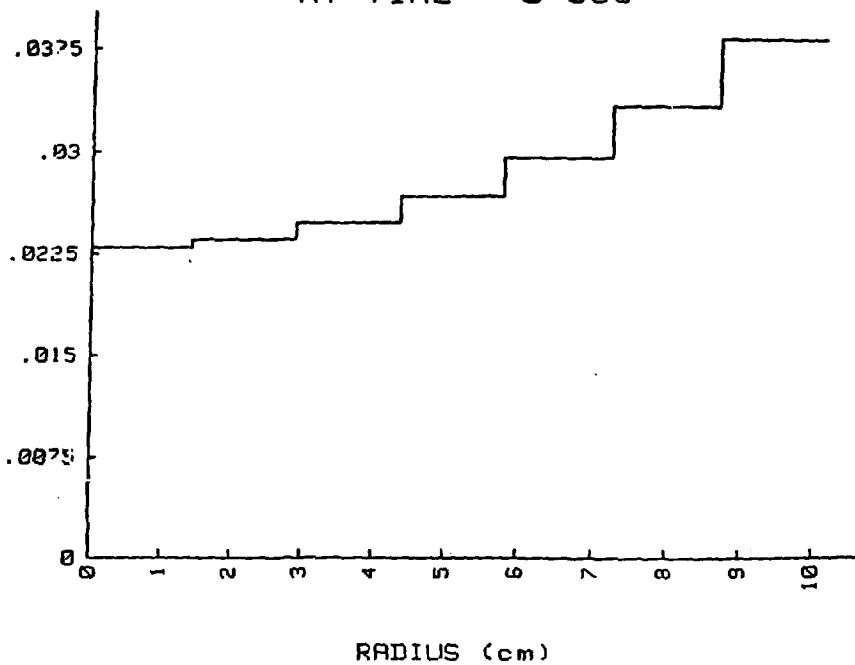


Fig. 2

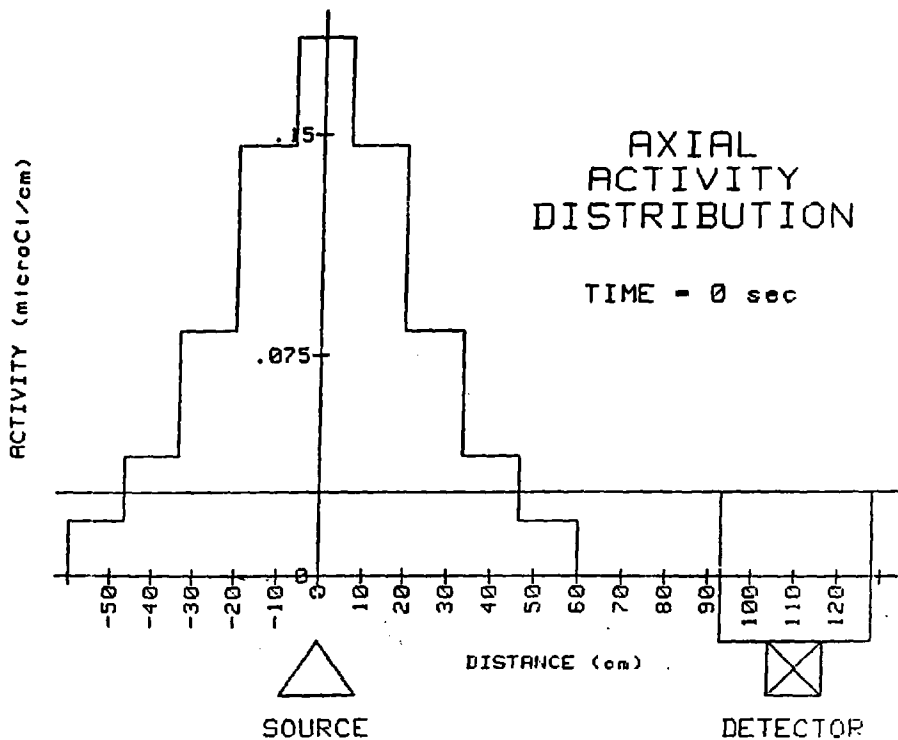
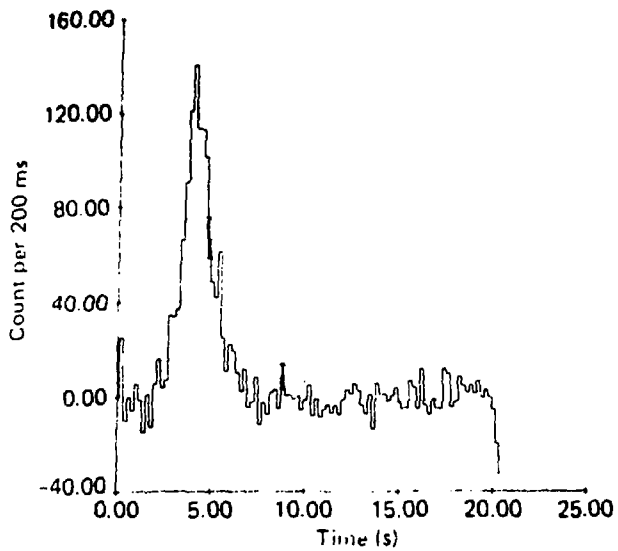


Fig. 3



Background-corrected L3-7 test PNA data,

Fig. 4

Institutt for energiteknikk (IFE) ble grunnlagt i 1948 under navnet -Institutt for atomenergi. I 1953 ble instituttet etablert som en uavhengig selskaps. Hovedsentret ligger på Kjeller. Virksomheten i Halden er konsentrert om det internasjonale OECD Halden Reactor Project.

I 1980 ble Instituttets navn endret til -Institutt for energiteknikk. Idag er IFE med sine vel 500 ansatte et av de største teknologiske forskningsinstitutter i Norge.

AKTIVITETSOMRADER

- PETROLEIUMSTEKNOLOGI
- KJERNEKRAFT
- PROSEKSTEKNOLOGI
- ENERGISYSTEMER ENOK
- ISOTOPEKNOLOGI
- MATERIALETEKNOLOGI
- GRUNNFORSKNING I FYSIKK

FAGLIGE SPESIALITETER

- NUKLEAR BRENSSELSTEKNOLOGI
- PROSEKSKONTROLL
- INDUSTRIELL MATEMATIKK
- RESERVOARMODELLERING
- PETROLEIUMGEOLOGI
- FLERFASE TRANSPORT
- GASSSTEKNOLOGI
- OLJEKORROSJON
- ADVANSETE SVEISEMETODER
- RADIOFARMIK I
- BESTRÅLINGSTEKNIKK
- STRÅLINGSTEKNISKE INSTRUMENTER
- FYSIKKISKE/KJEMISKE ANALYSER
- FASTSTOFF FYSIKK



Institutt for
energiteknikk

Postboks 40, 2007 Kjeller
Tlf. (02) 71 25 60
Telefax (02) 71 55 53
Teleks: 74 573 energ n

Postboks 173, 1751 Halden
Tlf. (031) 83 100
Telefax (031) 83 103
Teleks: 76 335 energ n

Institute for energy technology (IFE) was founded in 1948 under the name of -Institutt for atomenergi. In 1953 the Institute was established as an independent foundation. The main center is located at Kjeller. The activity in Halden is concentrated on the international OECD Halden Reactor Project. In 1980 the name was changed to -Institute for energy technology.

At present, IFE, with more than 500 employees, is one of the major technological research institutes in Norway.

MAIN ACTIVITIES

- PETROLEUM TECHNOLOGY
- NUCLEAR POWER
- PROCESS TECHNOLOGY
- ENERGY SYSTEMS AND - CONSERVATION
- ISOTOPE TECHNOLOGY
- MATERIALS TECHNOLOGY
- BASIC RESEARCH IN PHYSICS

SPECIAL ACTIVITIES

- NUCLEAR FUEL TECHNOLOGY
- PROCESS CONTROL
- INDUSTRIAL MATHEMATICS
- RESERVOIR MODELING
- PETROLEUM GEOLOGY
- MULTIPHASE FLOW
- GAS TECHNOLOGY
- OIL CORROSION
- ADVANCED WELDING TECHNIQUES
- RADIOACTIVE PHARMACEUTICALS
- IRRADIATION TECHNIQUES
- RADIATION INSTRUMENTS
- PHYSICAL - CHEMICAL ANALYSES
- SOLID STATE PHYSICS



Institute for
energy technology

Box 40, N-2007 Kjeller, Norway
Teleph. +47 2 71 25 60
Telefax +47 2 71 55 53
Telex: 74 573 energ n

Box 173, N-1751 Halden, Norway
Teleph. +47 31 83 100
Telefax +47 31 83 103
Telex: 76 335 energ n