



UPPSALA
UNIVERSITET

Parametrisering av avklingningstiden τ från DDSI- instrumentet vid modellering av intakta PWR-bränslen

Li Pöder Balkeståhl, Zsolt Elter, Sophie Grape
Uppsala Universitet

Nationella strålsäkerhetsdagarna 2019



UPPSALA
UNIVERSITET

Innehåll

- Bakgrund
- Avklingningstid (τ)
- Modellerade bränslen
- Parametrisering av τ
- Test av parametriseringen
- Slutsatser



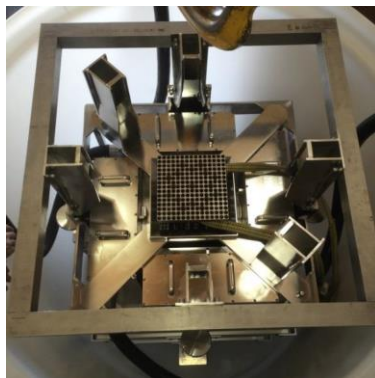
Bakgrund

- Kärnämneskontroll:
 - Använt kärnbränsle: viktig del
- Verifieras genom mätningar
 - Stämmer deklARATIONerna?
 - Mäter strålning (gamma, neutroner)
 - Extra viktigt vid slutförvar!
- Bokföringen innehåller bränsleparametrarna:
 - Initialanrikning (IE)
 - Utbränning (BU)
 - Kyltid (CT)

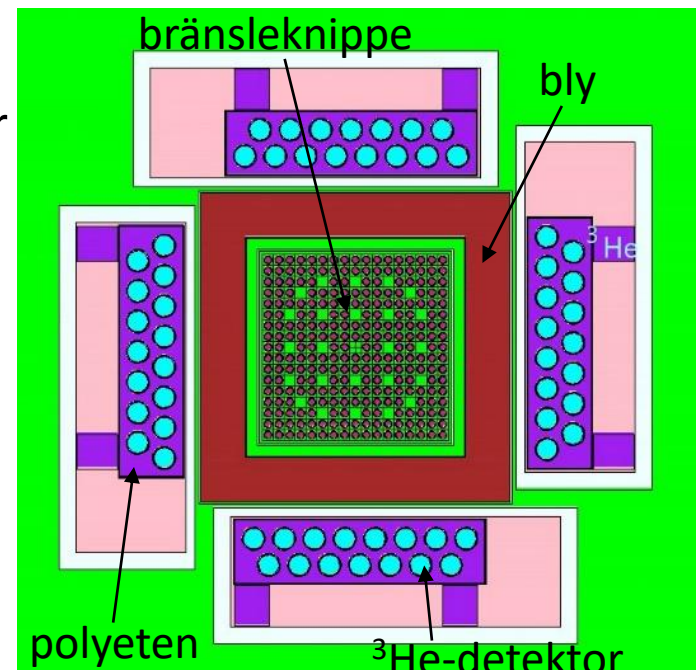


Bakgrund

- DDSI-instrumentet:
 - Differential Die-away Self-interrogation
 - Utvecklat och studerat inom NGSi
 - Prototyp testats
 - Mäter neutroner med ^3He -detektorer
 - Modellering tidskrävande



Source: A. Trahan dissertation thesis

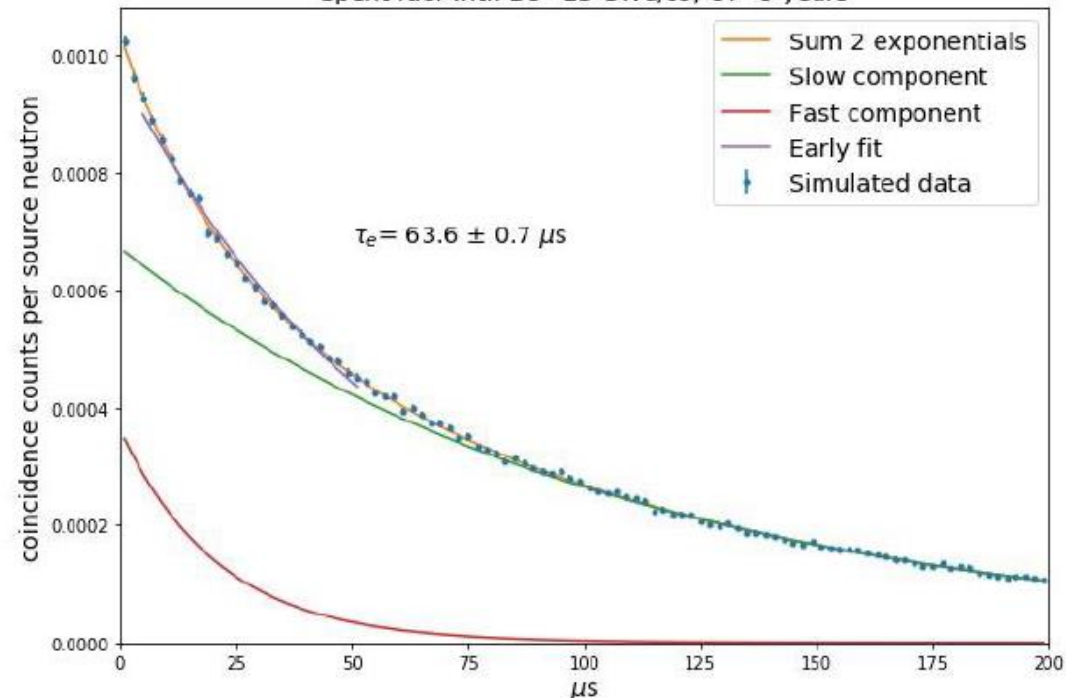


- Mål: Parametrисera detektorresponsen τ



Avklingningstid (τ)

Spent fuel with BU=15 GWd/tU, CT=9 years



- Rossi-alpha fördelning:
 - X-axeln: tidskillnad mellan neutroner
 - Y-axeln: antalet koincidenser
- Anpassa en avtagande exponentialfunktion för tidsintervallet 4-52 μs (lila):
 - Avklingningstiden (τ): tidskonstanten i exponenten
- Mer fissilt innehåll, neutronsignalen lever kvar längre, längre τ
- Mer neutronabsorberande isotoper, kortare τ



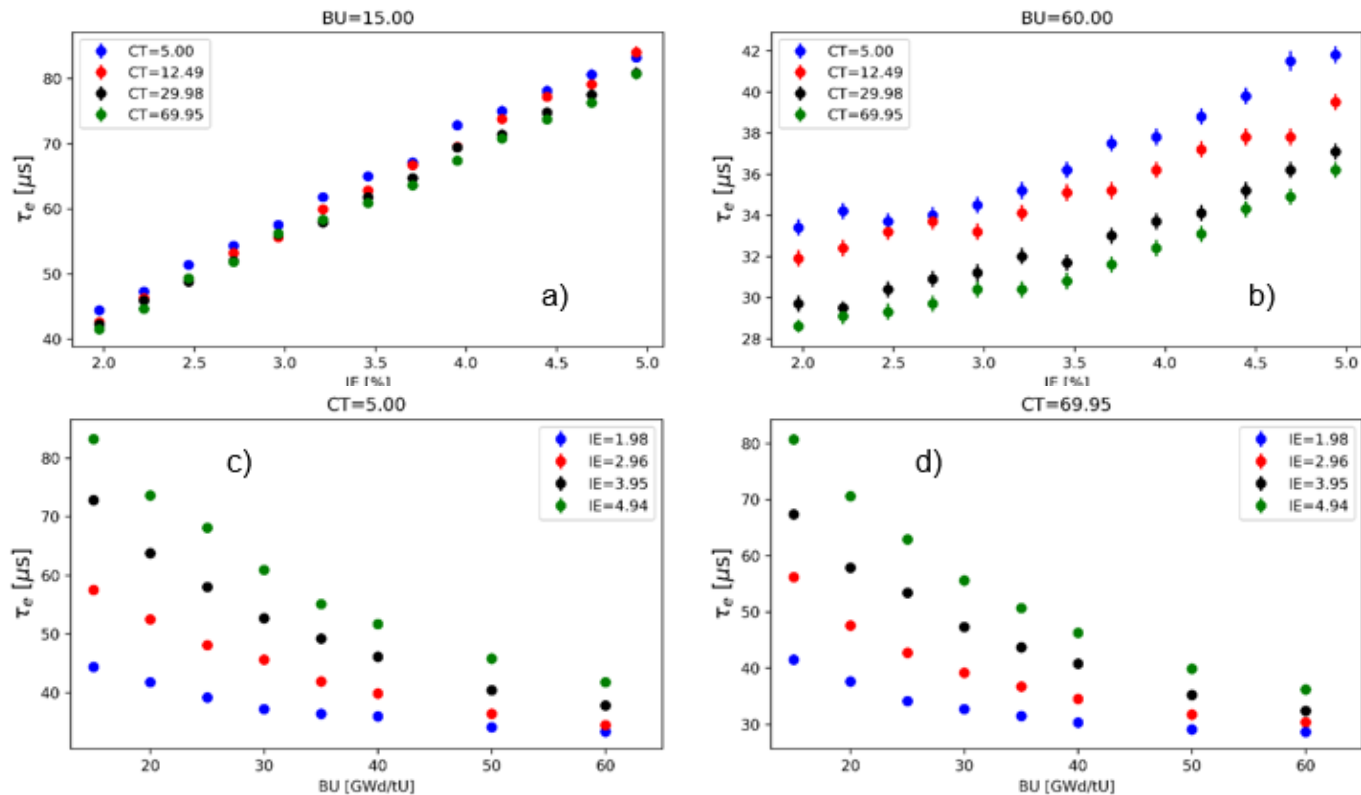
Modellerade bränslen

- Utbränning simulerad med Serpent2
 - Bränslets isotopsammansättning
- Neutronernas transport till och i DDSI simulerad med MCNP
 - PWR 17x17 bränsle
- Två dataset:
 - Parametrisering (1040 bränslen)
 - Test (980 bränslen)
- Bränsleparametrarna:
 - IE=2-5 %
 - BU= 15-60 GWd/tU
 - CT=5-70 y



Parametrisering av τ

- Hur beror τ på bränsleparametrarna? Första anblick:
 - τ ökar med initialanriktning (IE) och avtar med utbränning (BU):

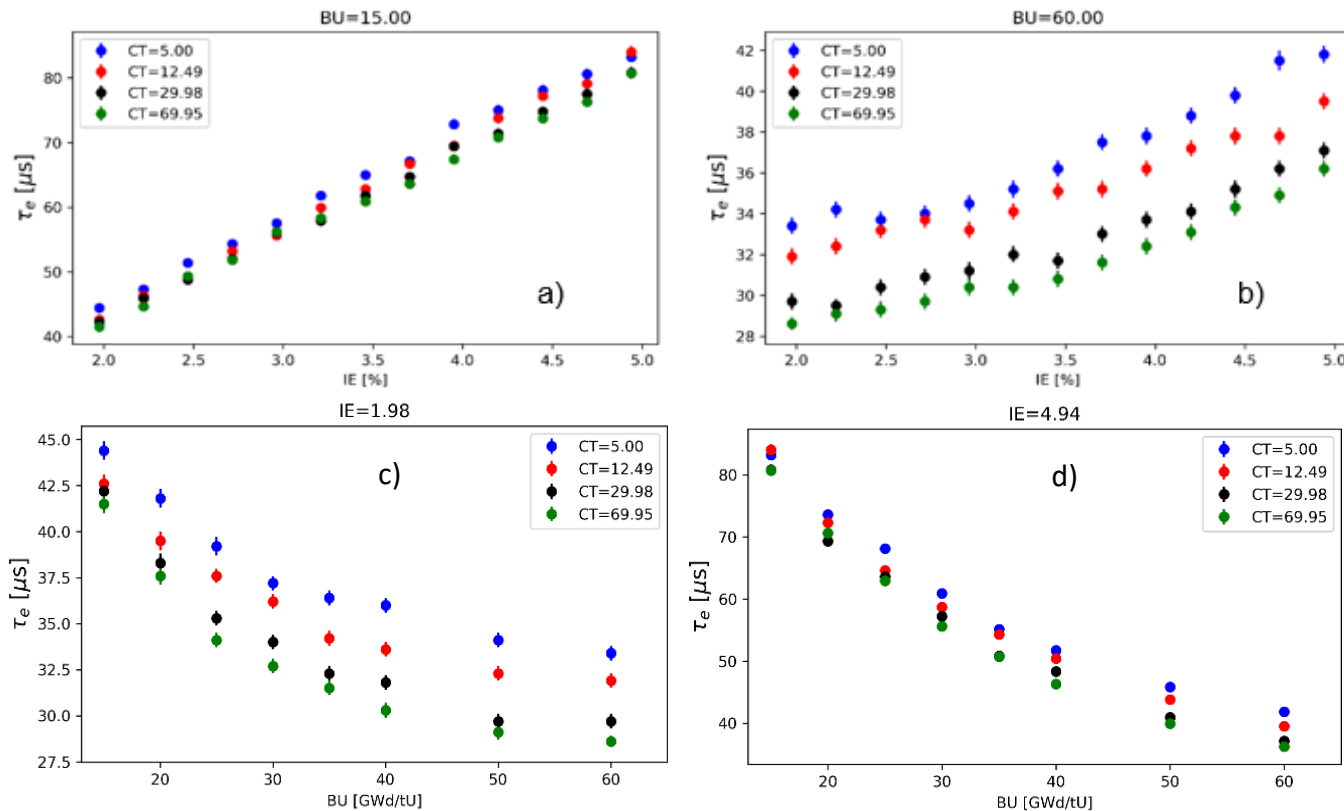


- IE och BU beroendena sammankopplade



Parametrisering av τ

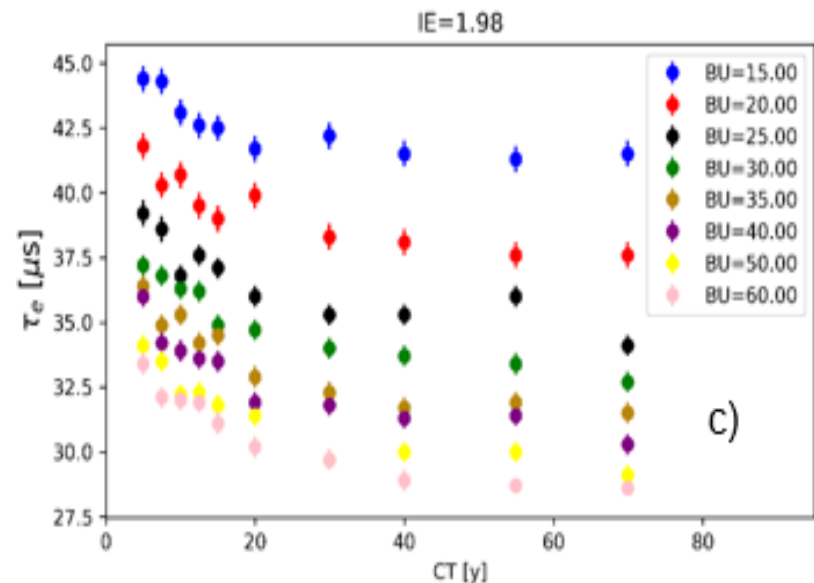
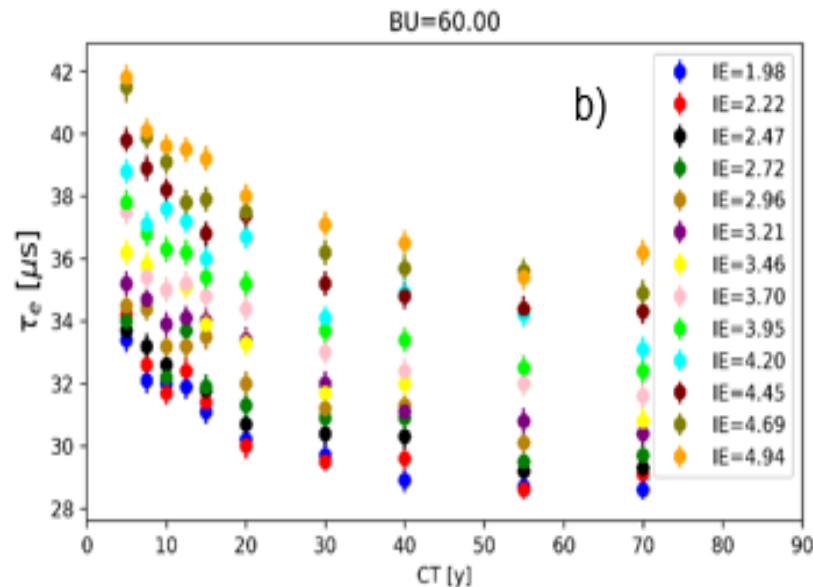
- Hur påverkar kyltiden (CT)?
 - τ beror svagare på CT
 - BU och IE beroendena verkar oberoende av CT





Parametrisering av τ

Beroendet hos τ på CT: avtagande exponentialfunktion



BU och IE-beroendena kan inte separeras från varandra, men:

- τ ökar med IE (mer för låg BU),
- τ avtar med BU (mer för hög IE).



Parametrisering av τ

- Förstå beroendet mellan τ och bränsleparametrarna:
 - Vilka isotoper påverkar neutronerna mest?
 - Använd $\text{abs}(\text{netto neutronemission})$
 - Isotoper som dominerar:
 ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{241}Am , ^{235}U , ^{238}U , ^{155}Gd och ^{149}Sm .

BU och IE beroenden:

ökar med IE och avtar med BU. Beror på fissilt innehåll och neutronabsorberande fissionsprodukter och aktinider.

CT beroendet:

exponentiellt sönderfall som funktion av CT, medellivslängd mindre än ^{241}Pu

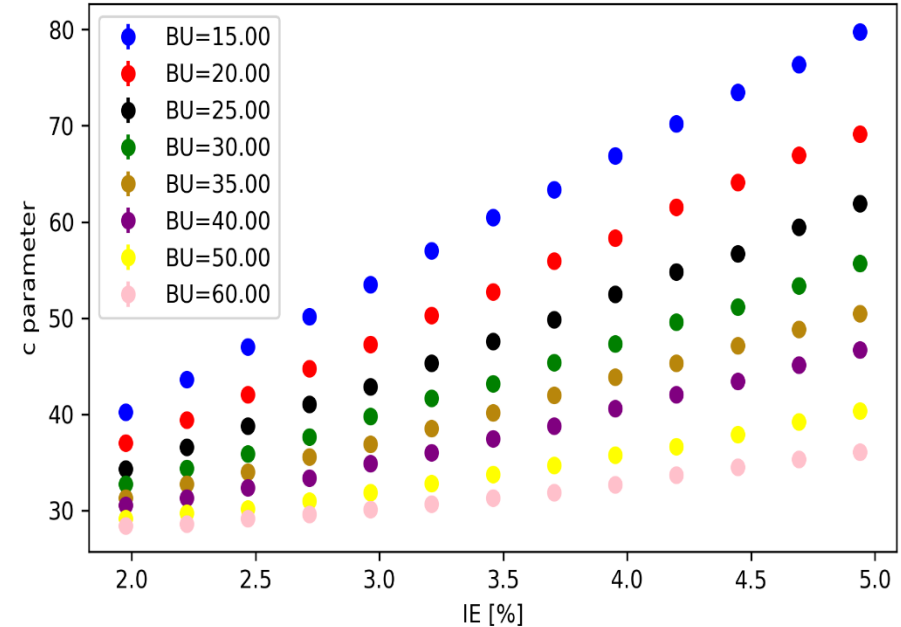
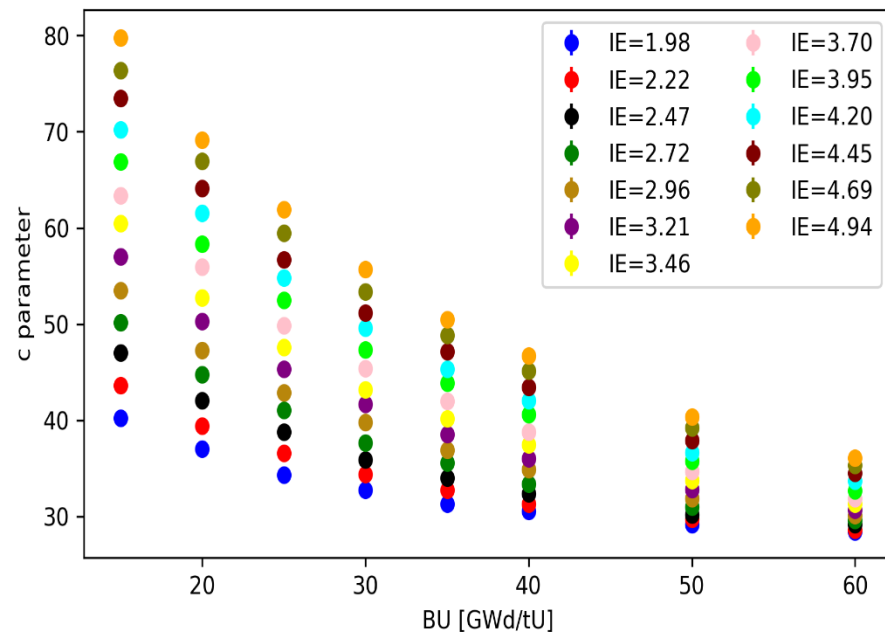


Parametrisering av τ

- Beskriv först CT-beroendet:

$$\tau = a \cdot e^{-\frac{CT}{b}} + c(BU, IE)$$

- a och b är konstanter (oberoende av BU och IE)
- c beror på BU och IE:



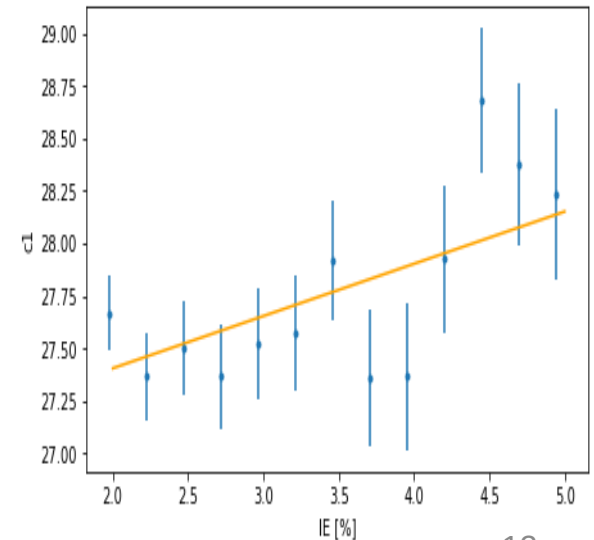
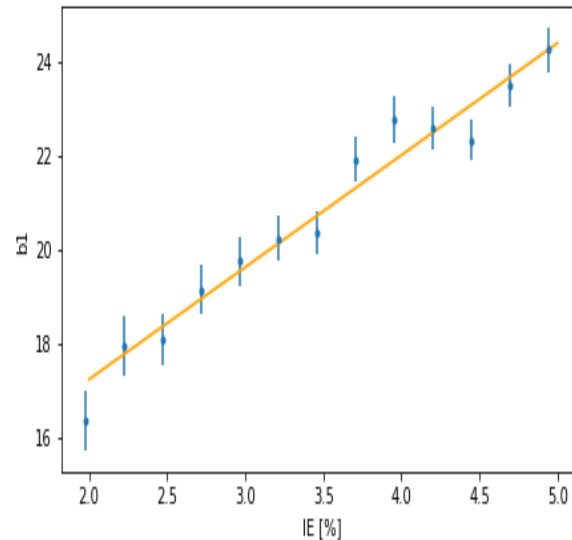
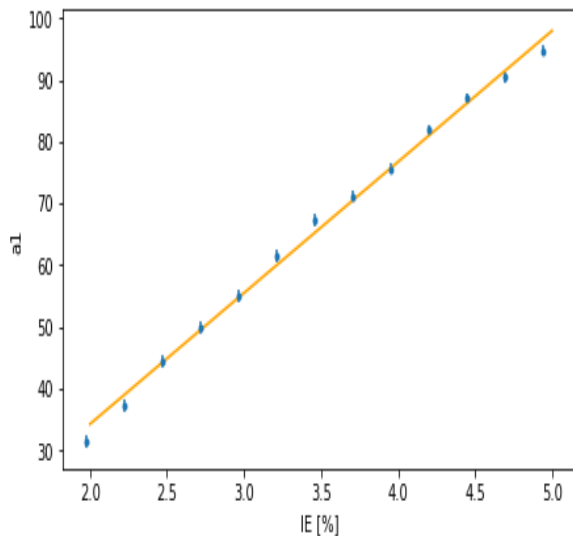


Parametrisering av τ

- Beskriv därefter BU-beroendet:
- Exponentialfunktion av BU:

$$c(BU, IE) = a_1(IE) \cdot e^{-\frac{BU}{b_1(IE)}} + c_1(IE)$$

- a_1 , b_1 och c_1 beror på IE

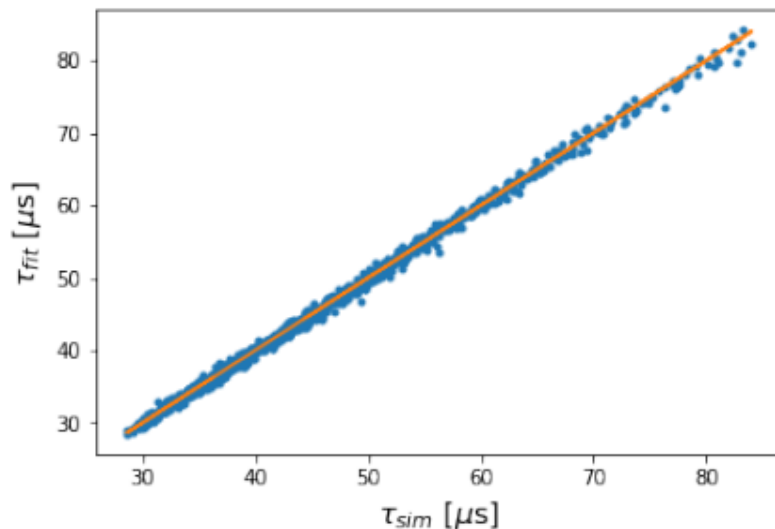




Parametrisering av τ

- Bäst global anpassning:

$$\tau = a \cdot e^{-\frac{CT}{b}} + a_1 \cdot e^{-\frac{BU}{b_1}} + c_1$$
$$a_1 = (f_2 \cdot IE^2 + f_1 \cdot IE + f_0)$$
$$b_1 = (d_2 \cdot IE^2 + d_1 \cdot IE + d_0)$$
$$c_1 = (e_2 \cdot IE^2 + e_1 \cdot IE + e_0)$$

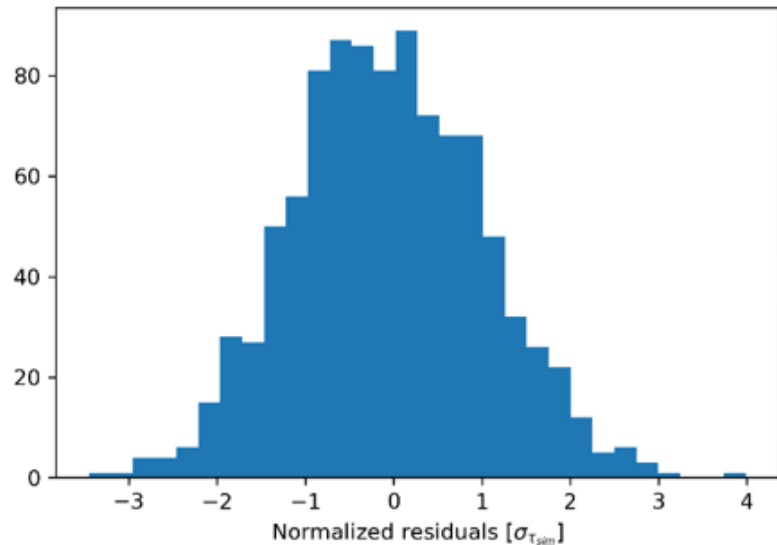
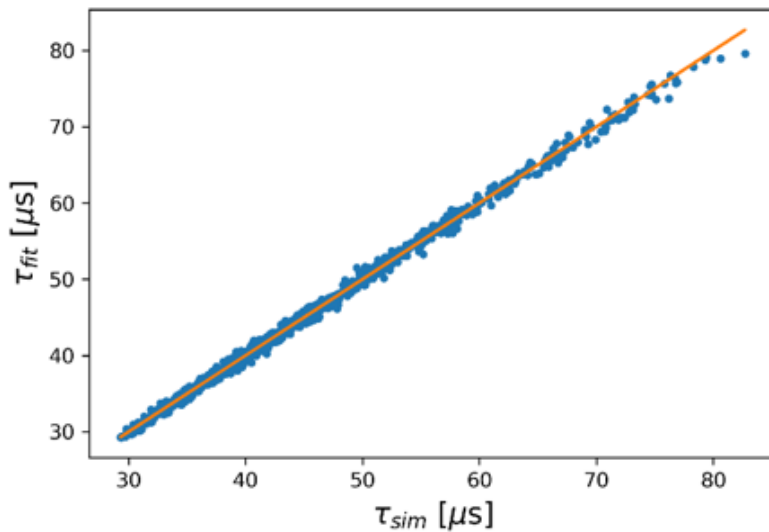


Parameter	Value
a	6.87(8)
b	15.8(4)
$f0$	-28(3)
$f1$	33(2)
$f2$	-1.8(2)
$d0$	11(1)
$d1$	3.3(7)
$d2$	-0.14(10)
$e0$	28.2(6)
$e1$	-0.7(4)
$e2$	0.14(7)



Test av parametriseringen

- Utfört på eget set simulerad data
- Figurerna visar hur väl parametrisering fungerar:
 - Beräknat τ vs simulerat τ (vänster)
 - Normaliserad residual, $r_n = \frac{\tau_{ber} - \tau_{sim}}{\sigma_{\tau_{sim}}}$ (höger)



- Väl fungerande parametrisering. RMSE=0.57 μs ; residualerna centrerade kring 0.



Slutsatser

- Avklingningstiden τ kan parametreras för intakta PWR 17x17 bränslen
- τ beroendet av CT kan separeras och beskrivs med en avtagande exponentialfunktion
- Beroendet hos τ av BU och IE kan inte separeras
- Beroendet av BU kan beskrivas med en exponentialfunktion, vars parametrar beror kvadratisk på IE
- Test av parametreringen visar att den fungerar bra
- Experimentell validering planerad med mätdata insamlad på Clab



Tack för uppmärksamheten!

Tack SSM för finansiering under diarinummer
SSM2016-661, SSM2015-4125 and SSM2016-4600.
Vi vill även tacka Alexis Trahan från LANL för all
hjälp med att simulera DDSI-instrumentet.