

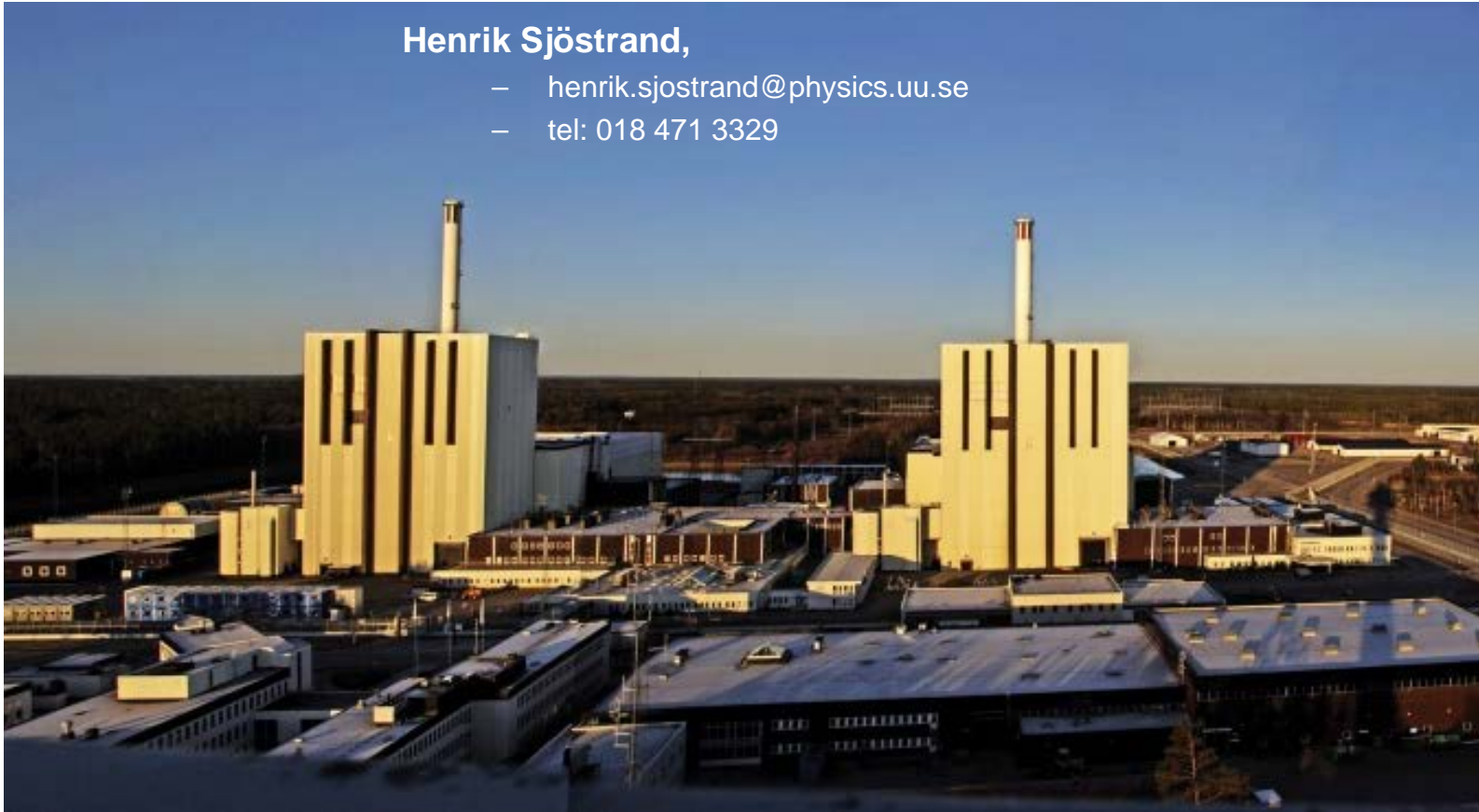


UPPSALA
UNIVERSITET

Kärnkraftspaketet

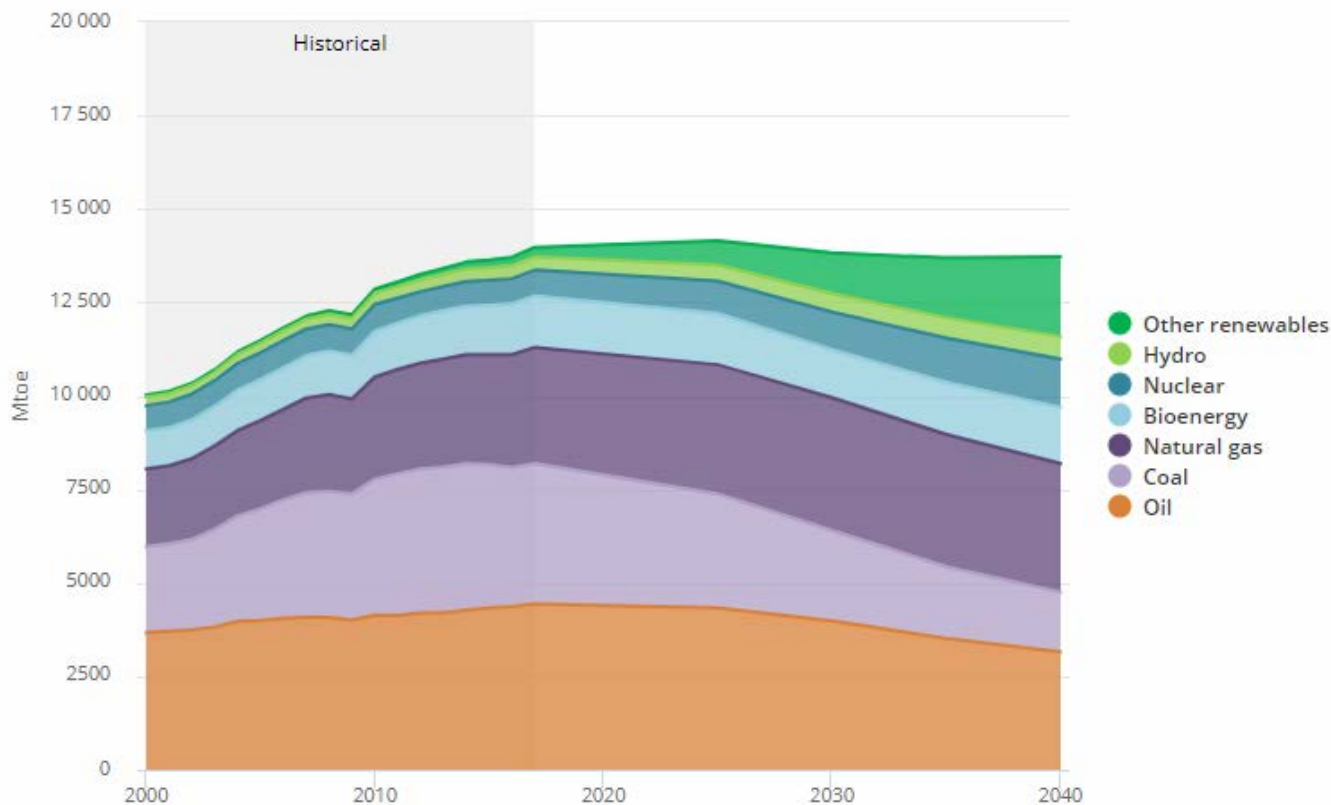
Henrik Sjöstrand,

- henrik.sjostrand@physics.uu.se
- tel: 018 471 3329





Kärnkraftens roll i världen: Vad innebär 2-gradersmålet?



IEA/World Energy Outlook 2018

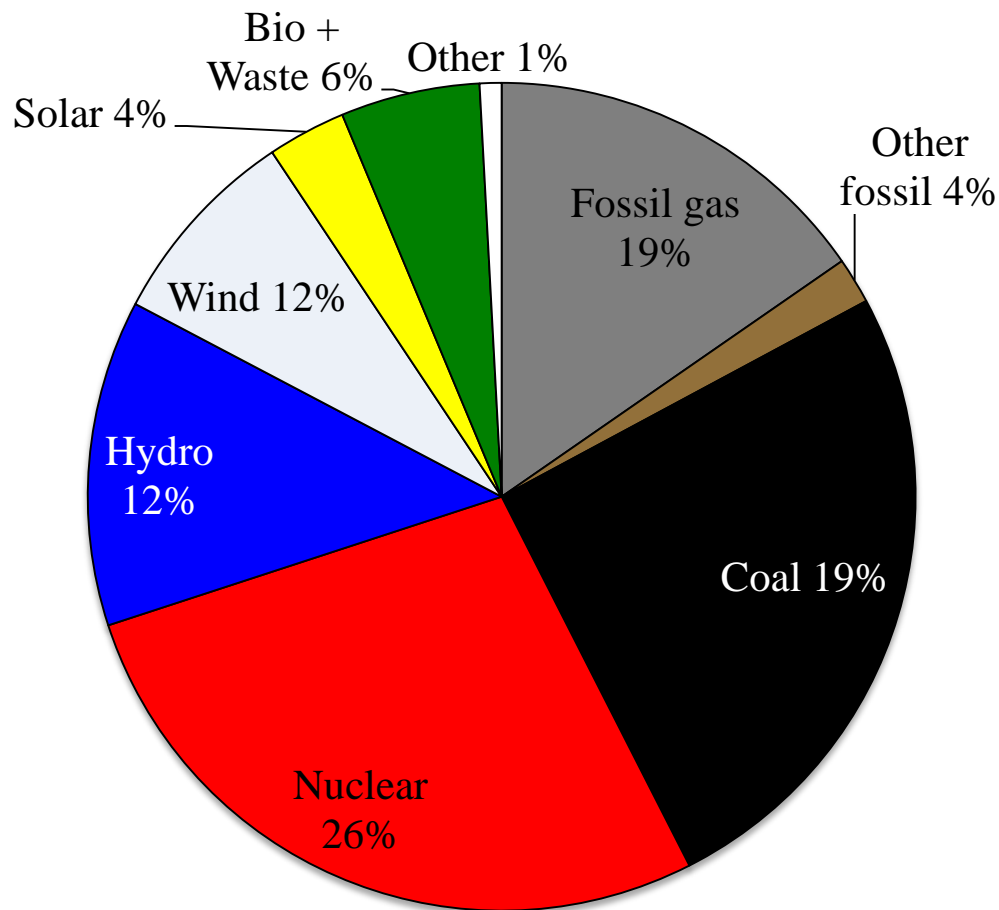
IPCCs senaste rapport 'förutsätter' en kraftig ökning av mängden kärnkraft som kommer att behövs fram till 2050.

500 % i scenario P3)

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15_SPM_version_stand_alone_LR.pdf



Kärnkraftens roll i EU



Elproduktion, 2018



Kärnkraftens roll i Sverige



- **2016 slöts ”energiöverenskommelsen”**
 - Bred parlamentarisk enighet kring fortsatt drift av kärnkraft under flera decennier
 - Stor politisk enighet att acceptera nybyggnation.
- **Kärnkraften är tillsammans med vattenkraften Sveriges dominerande elproducenter**
 - Står för ca 40% av elproduktionen vardera



UPPSALA
UNIVERSITET

Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Hur ser arbetsmarknaden ut?

Pressmeddelande | 2017-09-15 | 08:00

VATTENFALLS KÄRNKRAFT REKRYTERAR HUNDRATALS

Vattenfalls kärnkraftsverksamhet behöver fler än 3 nya medarbetare de kommande åren. Nu lanseras unik satsning för att locka ingenjörer och teknikintresserade som vill arbeta med Vattenfalls kärnkraftsverksamhet in i framtiden.

uni
per



VATTENFALL 

Pressmeddelande

31.01.2019

Vattenfalls kärnkraft i Forsmark och Ringhals gör universitetssatsning

Ett högskoleingenjörsprogram inriktat på kärnkraft startar i höst vid Uppsala universitet. Forsmark och Ringhals stöder utbildningen finansiellt för att säkra högkvalificerad kompetens långt in på 2040-talet.





Inriktning och kurser

Kunskaps- och färdighetsmässigt fokuserar paketet mot **fysik, modellering och simulering**.

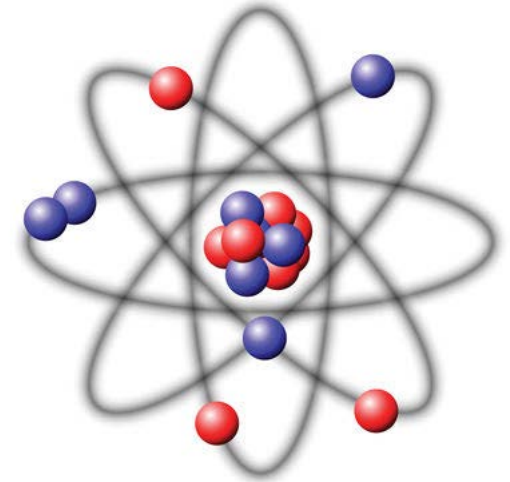
Många av kurserna har **stark koppling till branschen**.

period	kurs	poäng
33	Modern fysik	5 hp
41-42	Kärnkraft - teknik och system	10 hp
43	Framtida nukleära energisystem - analyser och simuleringar	5 hp
43	Tillämpad reaktorfysik	5 hp
51	Empirisk modellering	10 hp
52	Säkerhetsanalyser inom energisektorn	5 hp
	totalt	40 hp



Modern fysik

- Kursen är en bred kurs om fenomen som bygger på kvantfysik
- Kärnfysik (tvärsnitt, sönderfall) → Kärnkraft
- Fasta tillståndets fysik → Solenergi



And God said...

$$\oiint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$\oiint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \oiint \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = i + \epsilon \oiint \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

...and there was light.





Kärnkraft teknik och system

Dagens kärnkraft från gruva till slutförvar

Efter kursen ska ni kunna:

- Skissera på tekniska lösningar inom kärnteknikområdet samt förklara områdets tekniska och naturvetenskapliga principer
- Integrera kunskap från olika delar av kärnteknikområdet för att lösa för området relevanta problem
- Kritiskt jämföra olika reaktortyper ur hållbarhets- och säkerhetsperspektiv
- Med numeriska verktyg simulera reaktorfysikaliska förlopp och schematiskt designa ett kärnkraftverk samt motivera de antaganden och val som gjorts

Det här gör vi:

- Studiebesök SKB, CLAB och Äspö
- Simulerings- och designuppgift (matlab)
- Gästföreläsning(ar)
- Fördjupningsprojekt





UPPSALA
UNIVERSITET

Utmaningar med dagens kärnkraft

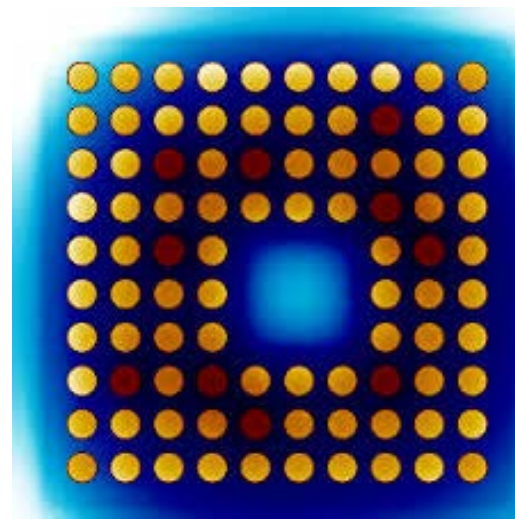




Framtida nukleära energisystem – analyser och simulering

Framtidens nukleära energisystem måste lösa de problem som finns med dagens

- **Avfallet**
 - Morgondagens reaktorer kan använda dagens avfall som bränsle
- **Urantillgångarna**
 - Idag används endast 0.5% av tillgängliga energin i natururanet, morgondagens reaktorer kan använda resterande 99.5%
 - I dagens avfall kan finns bränsle för tusentals år
- **Kursen är uppbyggd kring avancerade program för härdsimuleringar**
 - Ni får lära er hur program som används inom forskningen kring framtidens reaktorer fungerar
 - I projektarbeten undersöker ni olika problem kring kärnkraften med hjälp av härdsimuleringarna



time = 5.0 years

H 1.008																	He 4.003				
Li 6.941	Be 9.012															B 10.811	C 12.011	N 14.007	O 15.999	F 18.998	Ne 20.180
Na 22.990	Mg 24.305															Al 26.982	Si 28.086	P 30.974	S 32.06	Cl 35.45	Ar 39.948
K 39.098	Ca 40.078	Sc 44.956	Ti 47.88	V 50.942	Cr 51.996	Mn 54.938	Fe 55.845	Co 58.933	Ni 58.693	Cu 63.546	Zn 65.38	Ga 69.723	Ge 72.63	As 74.922	Se 78.96	Br 79.904	Kr 83.80				
Rb 85.468	Sr 87.62	Y 88.906	Zr 91.224	Nb 92.906	Mo 95.94	Tc 98.906	Ru 101.07	Rh 102.905	Pd 106.36	Ag 107.868	Cd 112.411	In 114.818	Sn 118.710	Sb 121.757	Te 127.6	I 126.905	Xe 131.29				
Cs 132.905	Ba 137.327	Hf 178.49	Ta 180.948	W 183.84	Re 186.207	Os 190.23	Ir 192.222	Pt 195.084	Au 196.967	Hg 200.59	Tl 204.384	Pb 207.2	Bi 208.980	Po 209	At 210	Rn 222					
Fr 223	Ra 226																				
Lanthanides		La 138.905	Ce 140.12	Pr 140.908	Nd 144.24	Pm 145	Sm 150.36	Eu 151.964	Gd 157.25	Tb 158.925	Dy 162.50	Ho 164.930	Er 167.259	Tm 168.933	Yb 173.054	Lu 174.967					
Actinides		Ac 227	Th 232.038	Pa 231.036	U 238.029	Np 237	Pu 244	Am 243	Cm 247	Bk 247	Cf 251	Es 252	Fm 257	Md 258	No 259	Lr 262					



Empirisk modellering

Konsten att gå från data till dynamisk modell

Empirisk modellering har ett mycket stort användningsområde.

Kalibrerade dynamiska modeller används inom nästan alla discipliner.



Kursen består av tre delar:

- 1) Teori och metoder för Empirisk modellering
- 2) Gästföreläsare från olika tillämpnings-områden som berättar hur de använder empirisk modellering
- 3) Projektarbete – Empirisk modellering av några energirelaterade processer. Olika projekialternativ finns.

Kärnkraftsprojekt:

I BWR kan vid vissa driftlägen effektsvängningar förekomma.

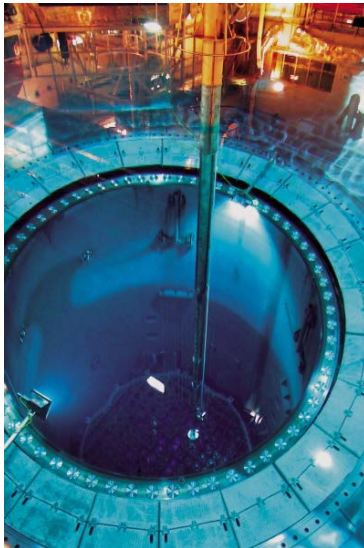
Viktigt att kunna detektera instabilitet.

Undersök reaktorns stabilitetsmarginal m.h.a. verkliga mätdata!



Säkerhetsanalyser inom energisektorn

- Hur bedömer vi risker inom komplexa tekniska system, som kärnkraftverk?
- Hur förutsäger vi olika händelseförlopp om en enskild komponent fallerar?
- Kan vi säga att ett system är säkert, och i så fall, vad menar vi med det?



Innehåll:

- Riskbegreppet
- PSA (**statistik!**)
- DSA (**bokföring!**)
- Algoritmer och beräkningar (PSA)
- Projektarbete och fallstudier på verkliga händelser (vad hade hänt om...?)
- Datorlaborationer
- Gästföreläsningar

PSA = Probabilistisk SäkerhetsAnalys

- Vad kan gå fel?
- Hur troligt är det att det går fel?
- Vad blir konsekvenserna?

DSA = Deterministisk SäkerhetsAnalys

- Uppfyller säkerhetssystemen sitt syfte?
- Om inte, vad blir konsekvenserna?





Tillämpad reaktorfysik

- Är öppen både för studenter och branschfolk
- Undervisas av specialister från Vattenfallbränsle
- Studenter och branschfolk lär sig av varandra och ett utbyte av erfarenheter och kunskap uppmuntras i en lagom stor grupp
- Erbjuder ett "smörgåsbord" av uppgifter som förekommer branschen

Kursinnehåll:

- Reaktorfysikens grunddata, begrepp och modeller
- Räkneexempel som tillämpar teorin
- Bränsleförsörjningscykeln
- Vad händer i en LWR bränslestav under normaldrift?
- PWR bränsle- och härddesign
- BWR bränsle- och härddesign
- Anrikningsoptimering ur ett ekonomiskt perspektiv
- Resttid, Fucuschima, Stresstester eller något annat intressant aktuellt inom kärnkraftsvärlden
- Studiebesök på Ringhals, Forsmark eller Vattenfall



Exjobb

- **Landelius Kim**, Westinghouse Electric Sweden AB, *Qualification of Westinghouse BWR lattice physics methods against critical experiments*
- **Svanström Sebastian**, Tillämpad kärnfysik ”Load following with passive core using the SPARC-design, a conceptual study”
- **Åkerman Mattias** Vattenfall Nuclear Fuel AB ”Förbättrade effektmarginaler med radiell anrikningsfördelning för PWR-bränsle”
- **Joakim Nordlander**: “Dimensionell stabilitet i PWR-patroner i Ringhals” – in collaboration with Vattenfall Nuclear Fuel.
- **Fritz Malin, Forsmark** Fallande styrstav i BWR
- **Klas Sunnevik**: “Comparison of MAAP and MELCOR and evaluation of MELCOR as a deterministic tool within RASTEP”, 2014-11-19 , Studsvik Scanpower
- **Moa Ericsson** Hur mycket kan man bygga ut kärnkraften vid införande av ett parallellt generation IV system med en Sodium-cooled fast reactor, SFR, på 1000 MWt utan att bygga ut det tänkta slutförvaret.
- **Bolander Mattias Westinghouse**, Nuclear Fuel PCI Failure Modeling
- **Bydell Linn, Vattenfall** Evaluation of the thermal-hydraulic code GOTHIC for nuclear safety analyses



Exjobb

- Concerns when designing a safeguards approach for the back-end of the Swedish fuel cycle
- Investigation of void effects in boiling water reactor fuels using neutron tomography
- CFD model of fluid flow in reactor. A simulation of velocity and heat distribution in a channel
- Investigation of water films on fuel rods in boiling water reactors using neutron tomography
- The intensity profile of a neutron beam of 96 MeV at TSL
- Alternative measuring approaches in gamma scanning on spent nuclear fuel
- Comparison of different nuclear fuel cycles for LWR applications
- Dynamisk modellering av kärnreaktor
- Optimization of material in proton-therapy collimators with respect to neutron production
- Test and Analysis of Homogeneity Regarding Failure Intensity of Components in Nuclear Power Plants
- "Modelling of the Reactor Containment Cooling in OL1 and OL2"
- Upgrade and validation of PHX2MCNP for criticality analysis calculations for spent fuel storage pools
- Hydrogen production using high temperature nuclear reactors: A feasibility study
- "Thermal-hydraulic modelling of Forsmark 1 NPP in TRACE: Validation versus the 25th of July, 2006 plant transient"
- "Validering av Casmo-5M / Simulate-3"
- Modeling of the steam system in a BWR: A Model of Ringhals 1
- Nuclear Fuel PCI Failure Modeling
- "Icke-linjära modelleringstekniker av förspänd betongkonstruktion: Reaktorinneslutningen på Forsmark 3"
- "Calculation method based on CASMO/SIMULATE for isotopic concentrations of fuel samples irradiated in Ringhals PWR"
- Control rod drop during hot zero power: RIA in BWR
- Evaluation of the thermal-hydraulic software GOTHIC for nuclear safety analyses
- Förutsättningarna för ett parallellt generation IV system vid svensk nybyggnation av kärnkraft.
- Reactivity Analysis of Nuclear Fuel Storages: The Effect of ²³⁸U Nuclear Data Uncertainties
- MCNP-modell för beräkning av neutrondos och DPA på reaktortanken vid Ringhals 2
- CFD simulation of pool dynamics in a nuclear reactor's condensation pool
- Investigation of a Pin-Power Reconstruction Method Used by the Nodal Code SIMULATE-5
- Optimization and design of a detection system based on transmission tomography with fast neutrons
- Utvärdering av beräkningskoden APROS för användning i inneslutningsanalyser
- Kvantifiering av osäkerheter i lyftkraftsmodellen
- S e k r e t e s s -----
- Utvärdering av dimensionell stabilitet i PWR-patroner i Ringhals



Kärnkraftsbranschen

- AREVA
- ES-konsult
- Forsmark
- Ringhals
- SSM
- GSE Power Systems
- Oskarshamns kärnkraftverk
- SKB
- Vattenfall Nuclear Fuel AB
- Westinghouse Electric Sweden AB



UPPSALA
UNIVERSITET

Frågor?

Avslutar med en sång