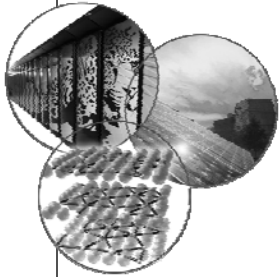




**Tuumaenergia – mõju ja valikud**

**Daniel T. Ingersoll**  
Oak Ridge'i Riiklik Labor

**Puhta ja rohelise energia Balti konverents**

**Tallinn, Eesti**  
15. oktoober 2009


---

---

---

---

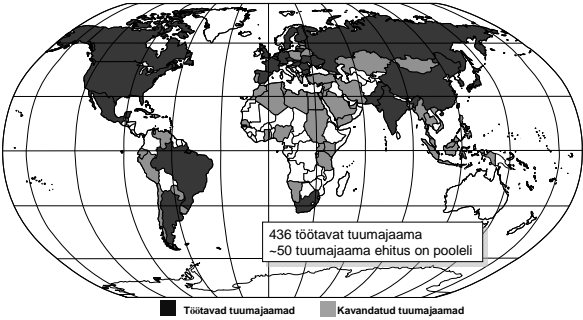
---

---

---

---

**Tuumaenergia ülemaailmne levik jätkub: 2050. aastaks oodatakse vajaduse kahekordistumist**



436 töötavat tuumajaama  
-50 tuumajaama ehitus on pooleli

■ Töötavad tuumajaamad ■ Kavandatud tuumajaamad

Allikas: Rahvusvaheline Aatomienergiaagentuur, 2008  
2 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy  
October 15, 2009

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ameerika Ühendriigid taashõlmavad tuumaenergiat**

- **USA valitsuse rahastatavad uued programmid**
  - 2000: käivitati IV põlvkonna programm.
  - 2002: käivitati programm Tuumaenergia 2010.
  - 2003: käivitati täiustatud kütusesükli algatusprogramm.
  - 2006: käivitati tuumaenergia ülemaailmne partnerlusprogramm.
- **Tuumaenergeetika põhipanustused**
  - Litsentseeritakse uusi konstruktsioonilahendusi (AP1000, ESBWR, US-EPR).
  - Kombineeritud kasutuslitsentside saamiseks on esitatud 17 taotlust, mis hõlmavad 26 uut reaktorit (7.09.2009 seisuga).
  - On tellitud neli uut reaktorit (AP1000).
  - On käiku antud uued rikastus- ja töötlustehased.

3 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy  
October 15, 2009

---

---

---

---

---

---

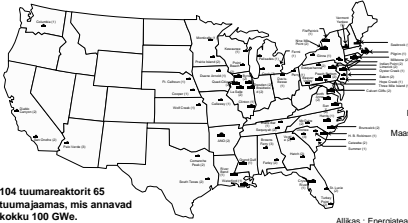
---

---

## Tuumaenergia on USAs kasvuhoonegaaside emissiooni vähendamises võtmeaspektis

### Tuumaenergia on puhas ja töökindel energiaallikas baaskoormuse katmiseks.

- Annab 19% USA elektritoodangust.
- Annab ~70% USA heitmevabast elektritoodangust.
- Hoiab igal aastal ära 700 milj. tonni CO<sub>2</sub>.
- Aitab vähendada NOx ja SOx üldtasemeid.

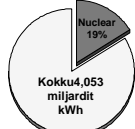


104 tuumareaktorit 65 tuumajaamas, mis annavad kokku 100 GWe.

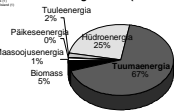
4 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy

October 15, 2009

USA elektritarbimine

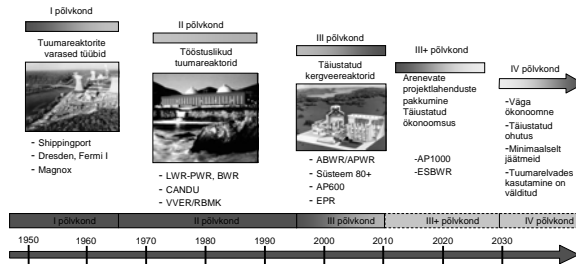


Heitmevabad energiaallikad (netoandmed)



Allikas: Energiateabeamet (2006)

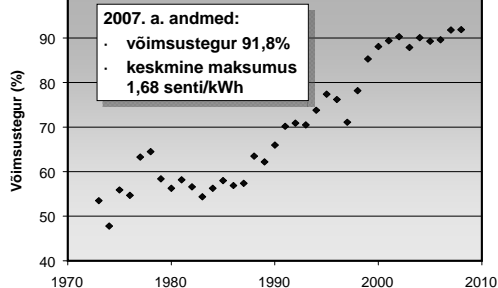
## Uute tuumajaamade konstruktsioon keskendub III(+)-põlvkonna reaktorisüsteemidele



5 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy

October 15, 2009

## USAs annavad praegu tooni II põlvkonna suure võimsusega tuumajaamad (kõrgendatud võimsustegur on võrdväärne 23 uue 1000 MWe tuumajaama lisamisega)



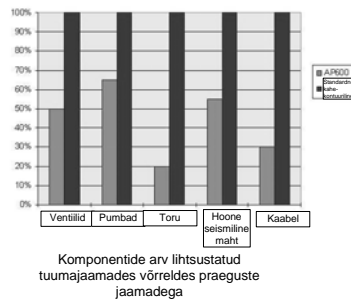
Allikas: Tuumaenergia Instituut (2008)

6 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy

October 15, 2009

### III põlvkonna konstruktsioonilahendused lubavad latti veelgi tõsta

- **II põlvkond:**
  - individuaalsed konstruktsioonilahendused
  - kiirelt arenev tehnoloogia
  - eskaleeruv suurus ja kompleksus
  - džiinamilised normid ja litsentsistandardid.
- **III põlvkond:**
  - Konstruktsioonilahenduste standardimine
  - tuumajaamade lihtsus
  - prognoositav litsentseerimine.



7 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy

October 15, 2009




---

---

---

---

---

---

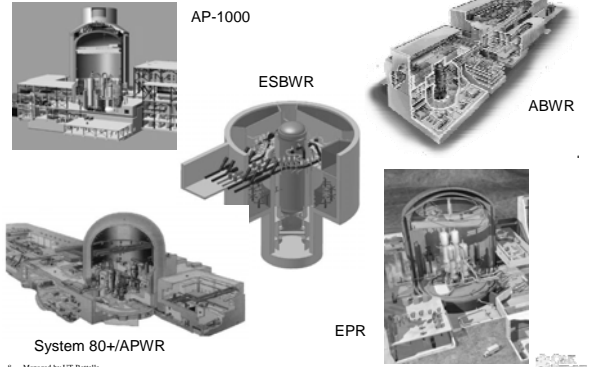
---

---

---

---

### Pakutavad III(+) põlvkonna konstruktsioonilahendused



8 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy

October 15, 2009




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### IV põlvkonna konstruktsioonilahendustelt oodatakse III põlvkonna omaduste ületamist

- **Jõudluse rangemate sihtväärtuste nõue**
  - Ohutus
  - Ökonoomsus
  - Säätvus
  - Tuumarelvastuses kasutam
- **Tuumaenergia kasutamise laiendamine uutesse rakendustes**
  - Vesiniku tootmine
  - Protsessisoojus
  - Aktinoidide põletamine
  - Lõhustava isotoobi saamine
- **Masstootmine pikas perspektiivis (2030)**



9 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy

October 15, 2009




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Hakkavad esile kerkima väiksema suurusega reaktorite lahendused

- Üldised kapitalmahutused väiksemad (odavam!).
- Suurem tugevus (ohutusvaru).
- Paindlikkus.
  - Sobivad paremini väikestesse või halvemini ühendatud võrkudesse.
  - Väiksem territoorium ja veevajadus.
  - Atraktiivne muudeks rakendusteks kui elektri tootmine: soolastamine, protsessisoojus, kaugküte.
- Potentsiaalselt lihtsam käitada ja hooldada.
- Annab klientidele rohkem valikuvõimalusi.



10 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy

October 15, 2009

---

---

---

---

---

---

---

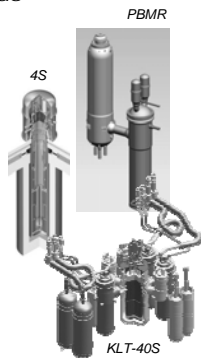
---

---

---

Väikese ja keskmise suurusega reaktorite konkureerivad lahendused maailmas

- Lähiperspektiivis
  - IRIS (US), NuScale (US), mPower (US)
  - SMART (RoK), CAREM (Ar)
  - KLT-40s (RF), VBER-300 (RF), PHWR (India)
- Keskpikas perspektiivis
  - PBMR (SA), 4S (Jaapan), HTR-PM (Hiina)
- Pikas perspektiivis
  - Naatriumi, plii või soolaga jahutatavad kiirreaktorid
  - Kassettsüdamikuga kompaktilahendused
  - Täisautonoomsed, koormust järgivad lahendused



11 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy

October 15, 2009

---

---

---

---

---

---

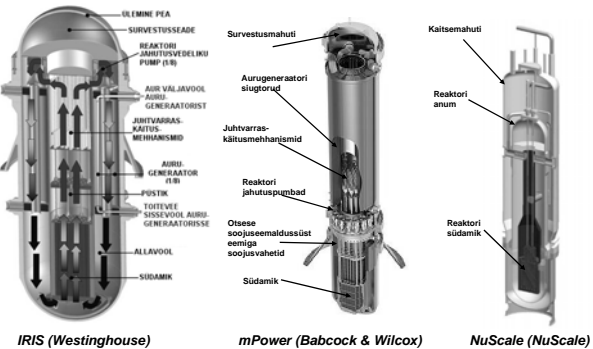
---

---

---

---

Väikese ja keskmise suurusega kergveereaktorite konstruktsioonilahendusi USAs



12 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy

October 15, 2009

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Majanduslikud eelised

- **Madalamad üldised projektikulud**
  - Väiksemad tuumajaamad on odavamad.
  - Rahastamisvõimalused paremad ja finantseerimiskulud väiksemad.
  - Mõnel juhul võib olla peamiseks edasiviivaks jõuks.
- **Elektri võrreldav hind**
  - Mastaabisääst võib väiksematel tuumajaamadel olla väiksem, kuid seda kompenseerivad muud majanduslikud tegurid.
    - Kiirem väljaõpe, hajutatud infrastruktuur, lihtsam projekteerimine, tööstuslik korratavus.
- **Väiksemad investeeringuriskid**
  - Maksimaalne investeeringuvajadus on väiksem ja täpsemini prognoositav.
  - Maksimaalne investeeringuvajadus võib olla väiksem isegi sama energeetilise tootmisvõimsuse korral.

13 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy

October 15, 2009




---

---

---

---

---

---

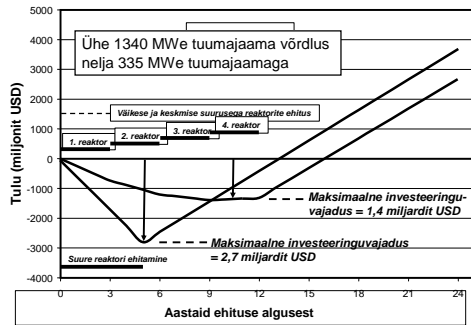
---

---

---

---

Väikese ja keskmise suurusega reaktorite kompaktne konstruktsioon vähendab maksimaalset investeeringuvajadust isegi sama koguvõimsuse korral



Allikas: B. Petrovic, GaTech

14 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy

October 15, 2009




---

---

---

---

---

---

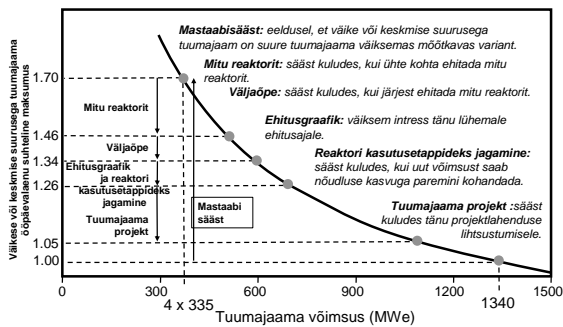
---

---

---

---

Tegurid, mis kompenseerivad mastaabisäästu Elektri ühikmaksumuse muutus



Allikas: C. Mycoff, WEC

15 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy

October 15, 2009




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Väikese ja keskmise suurusega reaktorite suurema ohutuse eelised

- **Lühemad tarneajad**
  - Väiksem võimsus tähendab vähem lõhustumisprodukte.
  - Tagab suurema ohutusvaru, võimaldab vähendada varjestust, objekti raadiust, avariitsooni ulatust jne.
- **Radioaktiivsel lagunemisel tekkiva soojuste tõhusam eemaldamine**
  - Reaktori südamikus tekib vähem radioaktiivset lagunemise soojust.
  - Passiivse lagunemissoojuste tõhusam eemaldamine reaktorianumast (efekt tänu paremale mahu ja pindala suhtele).
- **Avariivõimaluste välistamine**
  - Suurte torude puudumine primaarahelas tähendab, et ei saa tekkida õnnetusi jahutusvedeliku ulatuslike lekete tõttu.
  - Suuremad veevarud tähendavad süsteemi aeglasemat reageerimist energiasiidrele.

16 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy

October 15, 2009




---

---

---

---

---

---

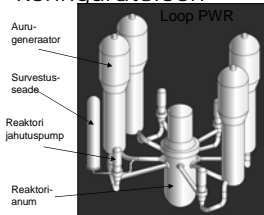
---

---

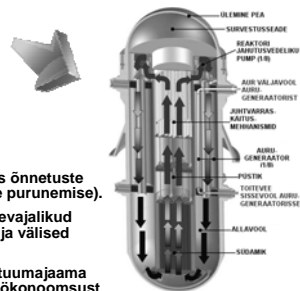
---

---

## Integreeritud primaarsüsteemi konfiguratsioon



Integreeritud surveveereaktor



- Parandab vastupidavust, kõrvaldades õnnetuste tüüpilised põhjused (nt suurte torude purunemise).
- Lihtsustab projekti, kõrvaldades mittevajalikud ohutussüsteemid, suured torustikud ja välised mahutid.
- Võimaldab kompakset paigutamist (tuumajaama väiksem territoorium), mis parandab ökonoomsust ja turvalisust.

17 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy

October 15, 2009




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Väljakutsed väikese ja keskmise suurusega reaktoritele

- **Tehnilised**
  - Kõikides projektlahendustes on teatud määral innovatiivseid komponente, süsteeme ja tehnikat (näiteks: integreeritud primaarsüsteem).
  - Pika perspektiivi süsteemides on kütuse- ja materjalivarude kasutus tõhusam. See võimaldab pikemaajalisi tööperioode kütuse lisamisest ja hooldusest tingitud seisakute vahel.
  - Enamik uutest konstruktsioonilahendustest vajavad andurite, mõõteriistade ja juhtseadiste täiustamist.
- **Korralduslikud**
  - Häälstatust suurtele tsentraliseeritud tuumajaamadele.
  - Mastaabisäästukaalutluste fikseerimine.
  - Traditsiooniline keskendumine suurte, kergveereaktoritega tuumajaamade kohta kehtivatele normidele.
  - Vastuseis esimeste omalaadsete tuumajaamade tellimisele.
    - Väikese ja keskmise suurusega reaktoritega tuumajaamade korral on kasutusel uus ärimudel ja uued konstruktsioonilahendused.

18 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy

October 15, 2009




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Uute tuumariikide jaoks on saadaval mitmeid ressursse

- **Tuumaenergeetika kogukond on loomult globaalne.**
  - Jaotatud tarnijad, tööjõud ja nõuded.
  - Ebaõnnestumiste mõju on hajutatud.
- **Paljud rahvusvahelised organisatsioonid aitavad meelsasti uusi tuumariike, näiteks:**
  - Rahvusvaheline Aatomienergiaagentuur
  - Tuumajaamakasutajate Ülemaailmne Assotsiatsioon.
- **Koordineeritust aitavad tagada paljud rahvusvahelised programmid, näiteks:**
  - riikidevaheline projektlaenduste hindamise programm
  - tuumaenergia ülemaailmne partnerlusprogramm
  - innovatiivsete tuumareaktorite ja kütsetsükliite rahvusvaheline projekt.

19 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy

October 15, 2009



---

---

---

---

---

---

---

---

## Kokkuvõte

- **Tuumaenergia kasutamisega saab kindlalt ja usaldusväärselt vähendada kasvuhoonegaaside emissiooni.**
- **Kogu maailmas kasutab tuumaenergiat järjest rohkem riike.**
- **Suurte tuumajaamade uued konstruktsioonilahendused on USAs sertifitseeritud ja neid pakutakse nii USAs kui kogu maailmas.**
- **Turule ilmuvad väiksemate tuumajaamade projektid, mis pakuvad klientidele soodsamaid ja paindlikumaid valikuvõimalusi.**
- **Põhiprobleemid ei ole tehnilised**
  - Normide ülevaatamine ja heakskiitmine.
  - Jäätmekäitlus ja utiliseerimine.
  - Finantseerimine.
  - Tarneahel ja tööjõud.

20 Managed by UT-Battelle for the U.S. Department of Energy

October 15, 2009



---

---

---

---

---

---

---

---