

TUUMAENERGEETIKA JA SELLE VÄLJAKUTSED (2)

Andres Tropp
Eesti Energia AS



Millest juttu tuleb?

Tuumaenergeetikast Eestis:

- Esmased tähelepanekud
- Milline tuumajaam sobib Eesti elektrisüsteemi
- Millised on tuumajaama asukohale seatud tingimused, võimalikud asukohad Eestis
- Seadusandlusest
- Tööjõu vajaduse hinnang
- Tuumajäätmete käitlusest ja selle võimalikust strateegiast
- Võimalikest reaktoritehnoloogiatest
- Tuumaprojekti finantsaspektid
- Kokkuvõte

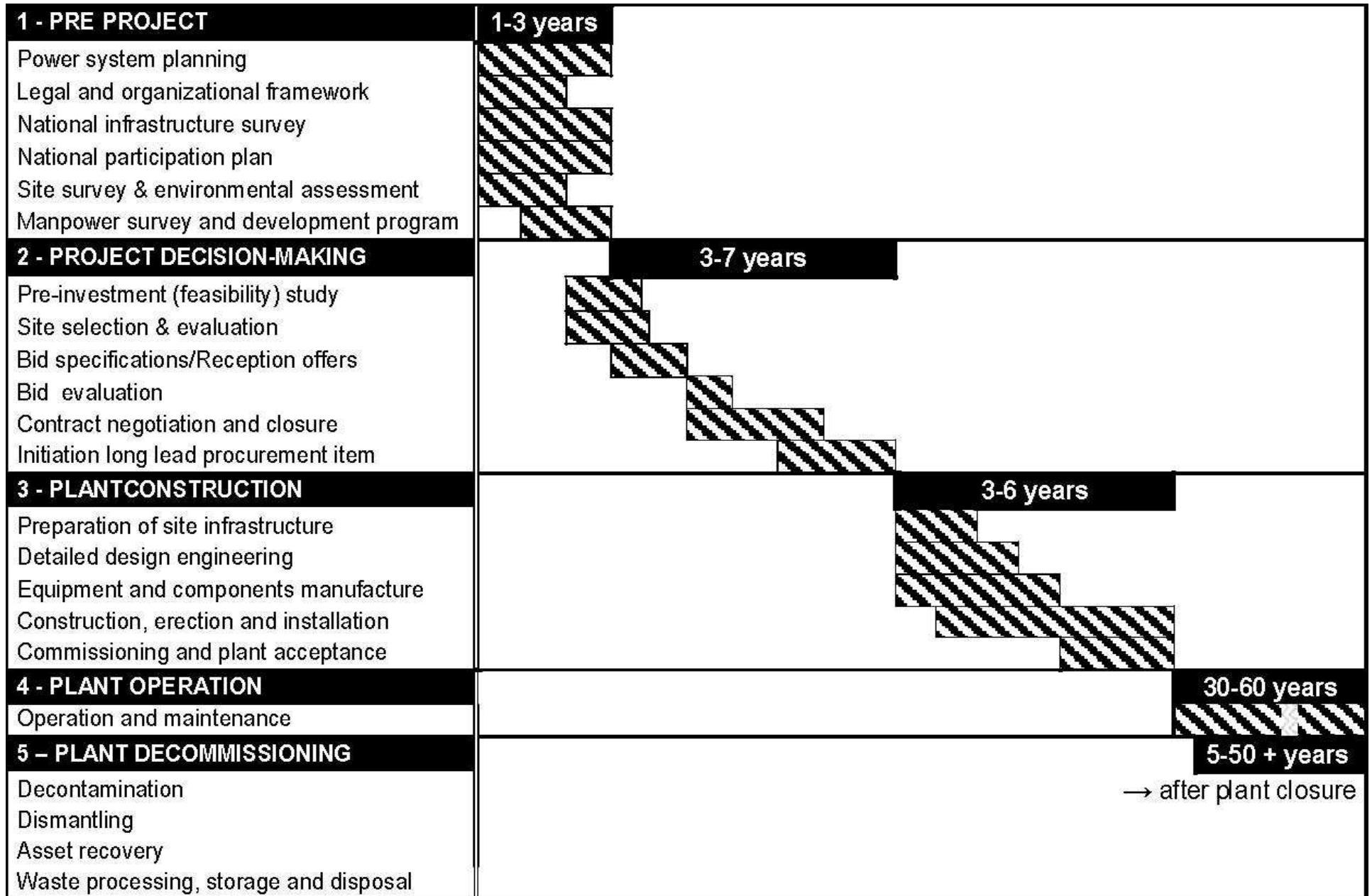


Eesti tuumajaama projekt – esmased tähelepanekud

- Arvestades tuumaprojekti arendamiseks vajaliku infrastruktuuri nõrkust on Eesti tuumajaama projekti perspektiiv pikaajaline. Eeltingimuseks on riigi poliitilise juhtkonna poole selge otsuse langetamine
- Olukord nii Euroopa, kui ka meie regiooni energeetikas hetkel väga segane, mis ei soodusta pikaajaliste plaanide tegemist
- Peamisteks küsimusteks on:
 - milline saab olema majanduskriisi pikaajaline mõju elektritarbimisele Põhjala-Balti regioonis (Soomes on sel aastal nõudlus vähenenud ca 9 TWh)
 - kuidas käivitub EL-i kliima- ja energiapoliitika 3. pakett ja milliseks kujuneb CO₂ hind
 - kuidas käivitub Põhjala-Balti elektriturg
 - milliseks kujuneb EL-i kliima- ja energiapoliitika 4. paketi sisu
 - kas ja kui suur osalus õnnestub EE-l saada Leedu uue tuumajaama projektis
 - kuidas hakkavad peale majanduskriisi käituma energiakandjate hinnad



Tuumajaama projekti struktuur ja ajakava



Milline tuumajaam sobib Eesti elektrisüsteemi?

Paar rusikareeglit:

- tuumajaamad sobivad eelkõige suurtesse elektrisüsteemidesse, sest nad ei ole kiiresti reguleeritavad (vähemalt mitte mõlemas suunas – oht kütuse lekkeks)
- tuumareaktori võimsus ei tohiks ületada 1/10 süsteemi võimsusest – peaks olema võimalus töötada stabiilselt “sirge graafikuga” ehk maksimaalvõimsusel

Kui Eestit eraldi vaadata, siis tuumajaama ehitamiseks Eestisse ei ole loogilist alust. Juhul kui võtta arvesse, aga terve regiooni võimalusi, sh. täna juba eksisteerivaid ning tulevikus ehitatavaid ülekandeliine, siis olukord muutub



Tootmisvõimsuste pikaajaline planeerimine – Eesti elektrisüsteemi tuumajaama integreerimise võimalikkus

Mart Landsbergi (Elering, elektrivõrgu planeerimine) doktoritöö (TTÜ) aastast 2008:

Long-Term Capacity Planning and Feasibility of Nuclear Power in Estonia Under Uncertain Conditions



1000 MW reaktor Eesti elektrisüsteemis 2025 aastal

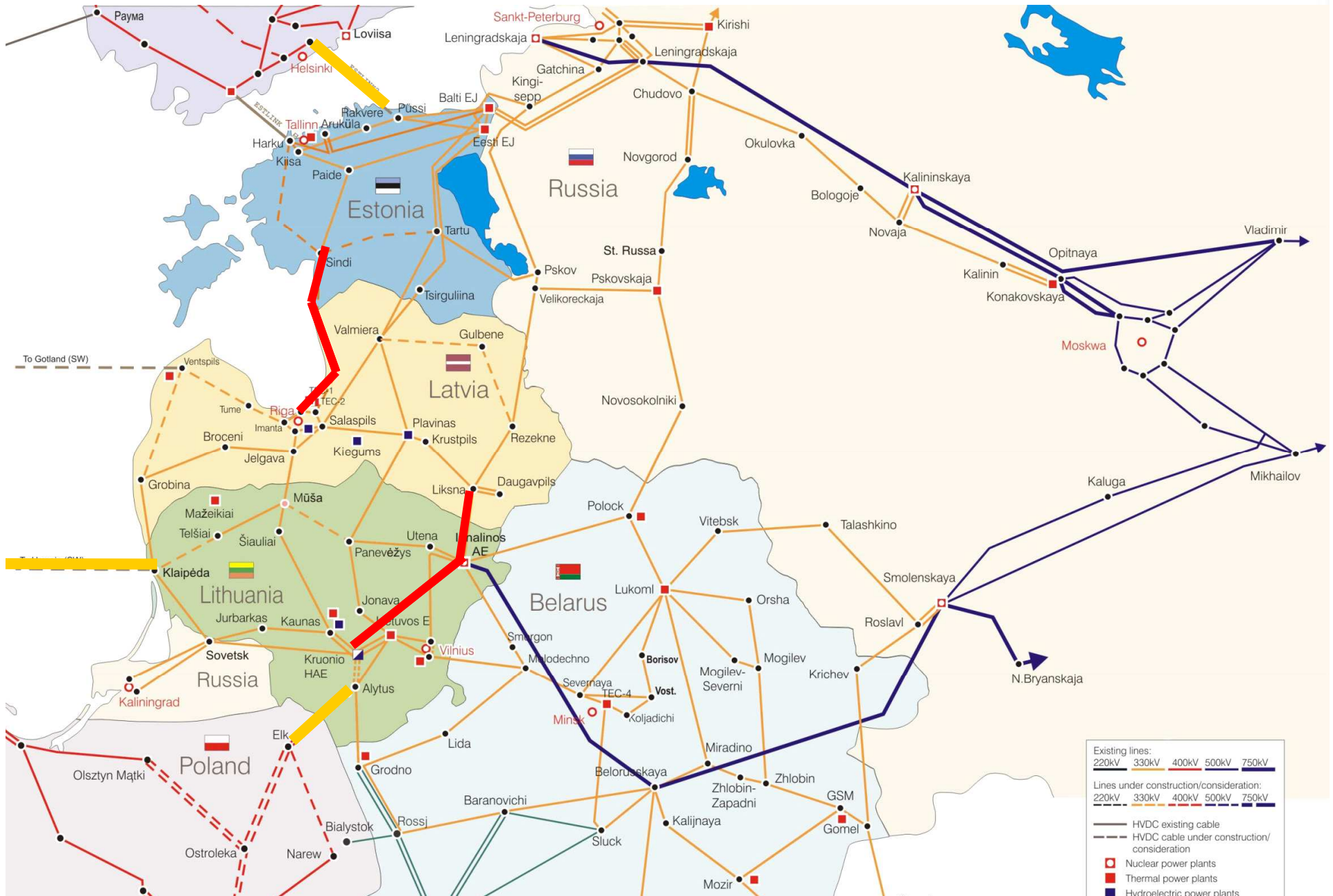


Kolm võimalikku asukohta:

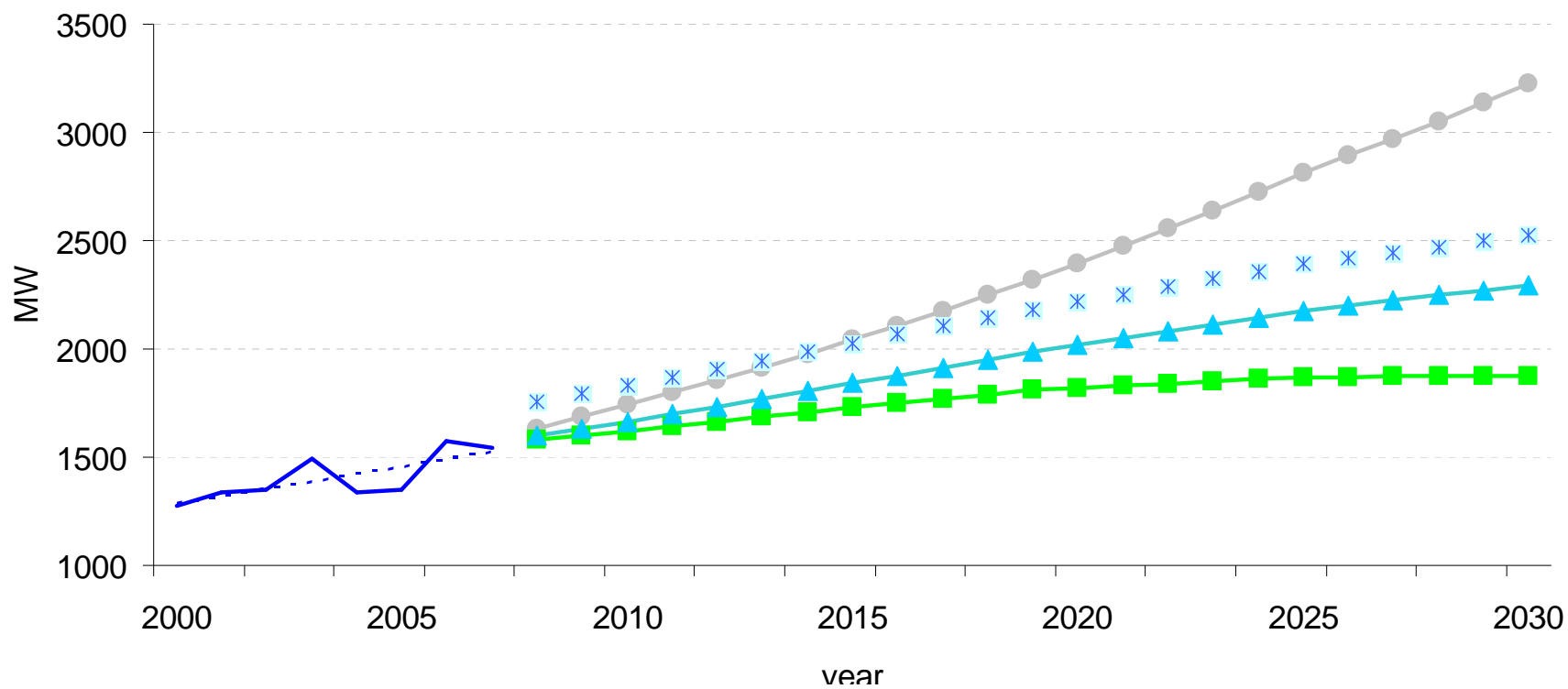
- 330 kV ühendused põhivõrku on vajalikud
- Estlink2 (650 MW, lisaks Estlink1 kaablile (350 MW)) mis ühendab Eestit ja Soomet on vajalik
- Kolmas 330kV ühendus Lätiga on vajalik
- Võimsuse valikud:
 - 2x ca.500 MW
 - 1000 MW



Leedu uue tuumajaama projektiga kaasnevad uued ühendused



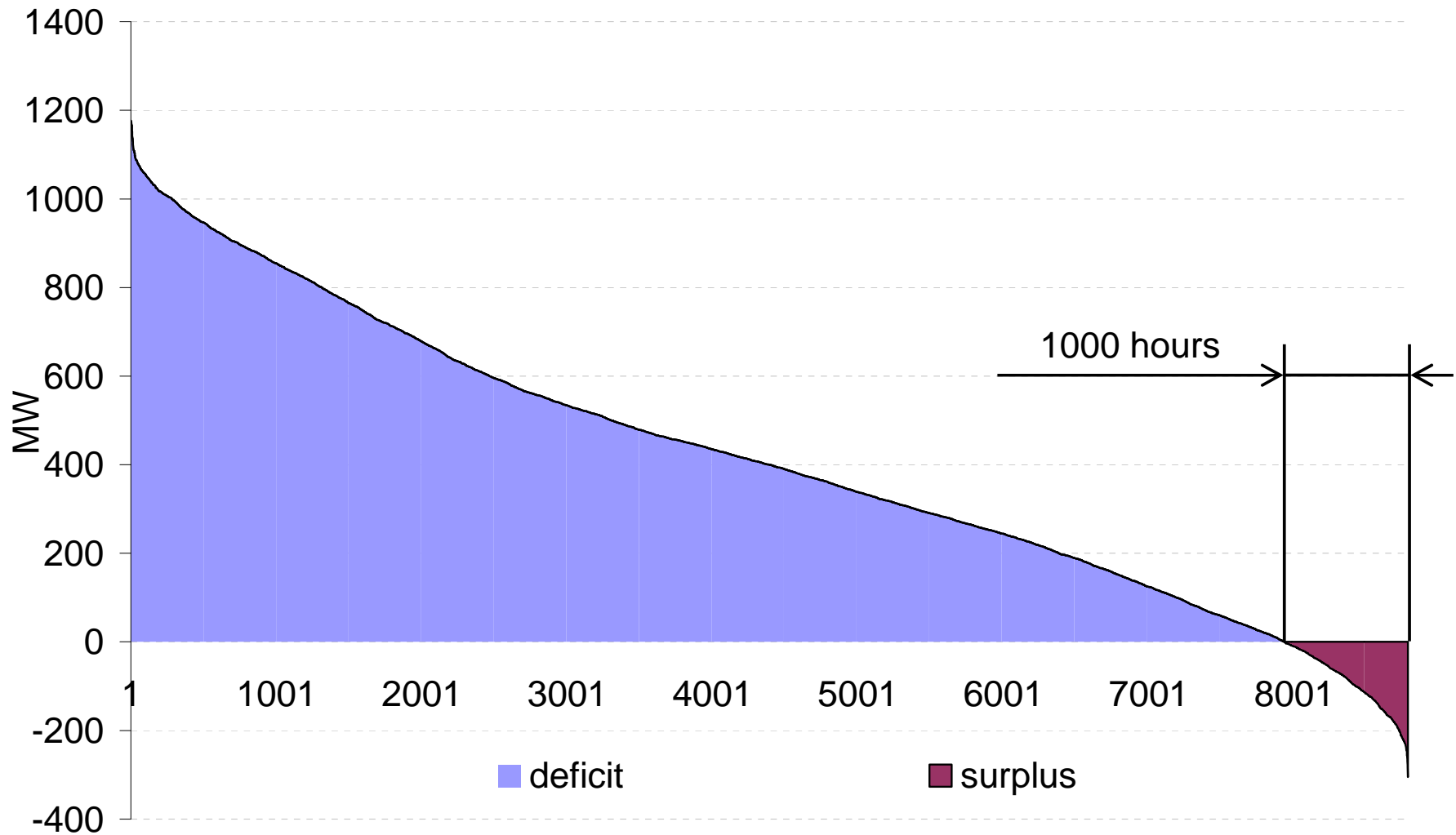
Eesti koormuse kasvu stsenaariumid



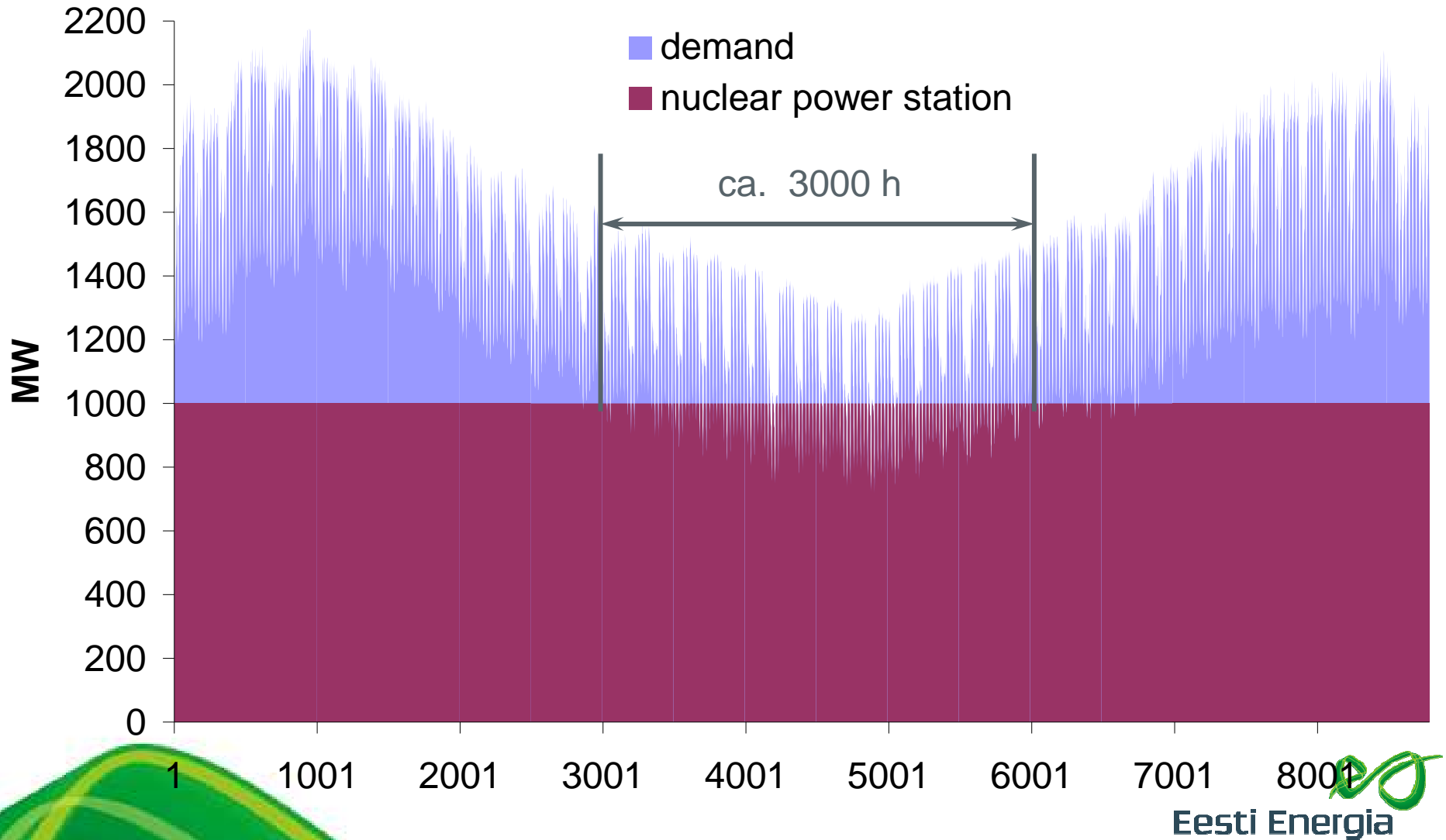
● FAST ■ LOW ▲ BASE — FACT * BASE, COLD WINTER



1000 MW elektriijaama võimsuse kasutus 2025 aastal



1000 MW reaktoriga Eesti vajaduste katmine 2025 a.

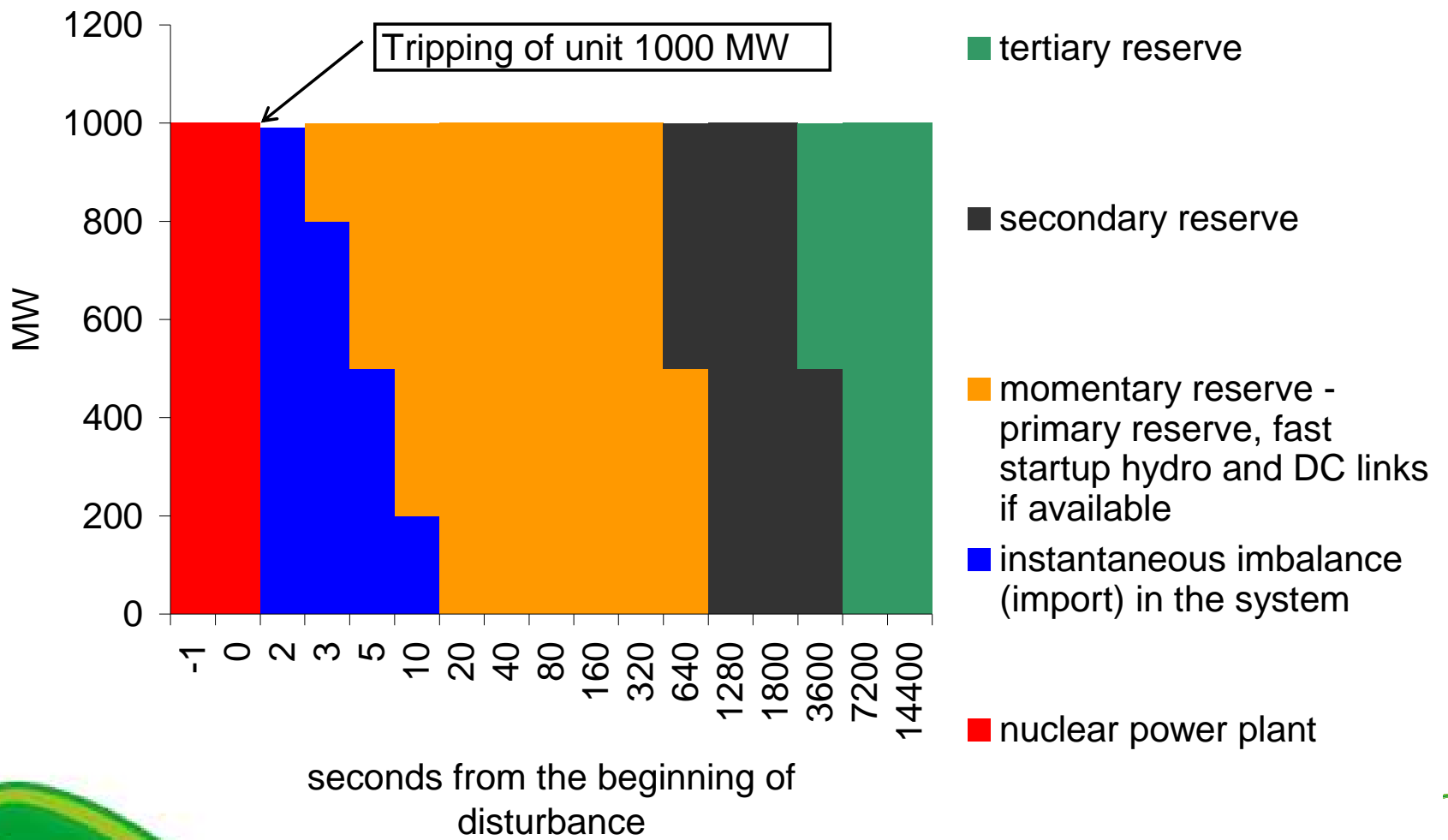


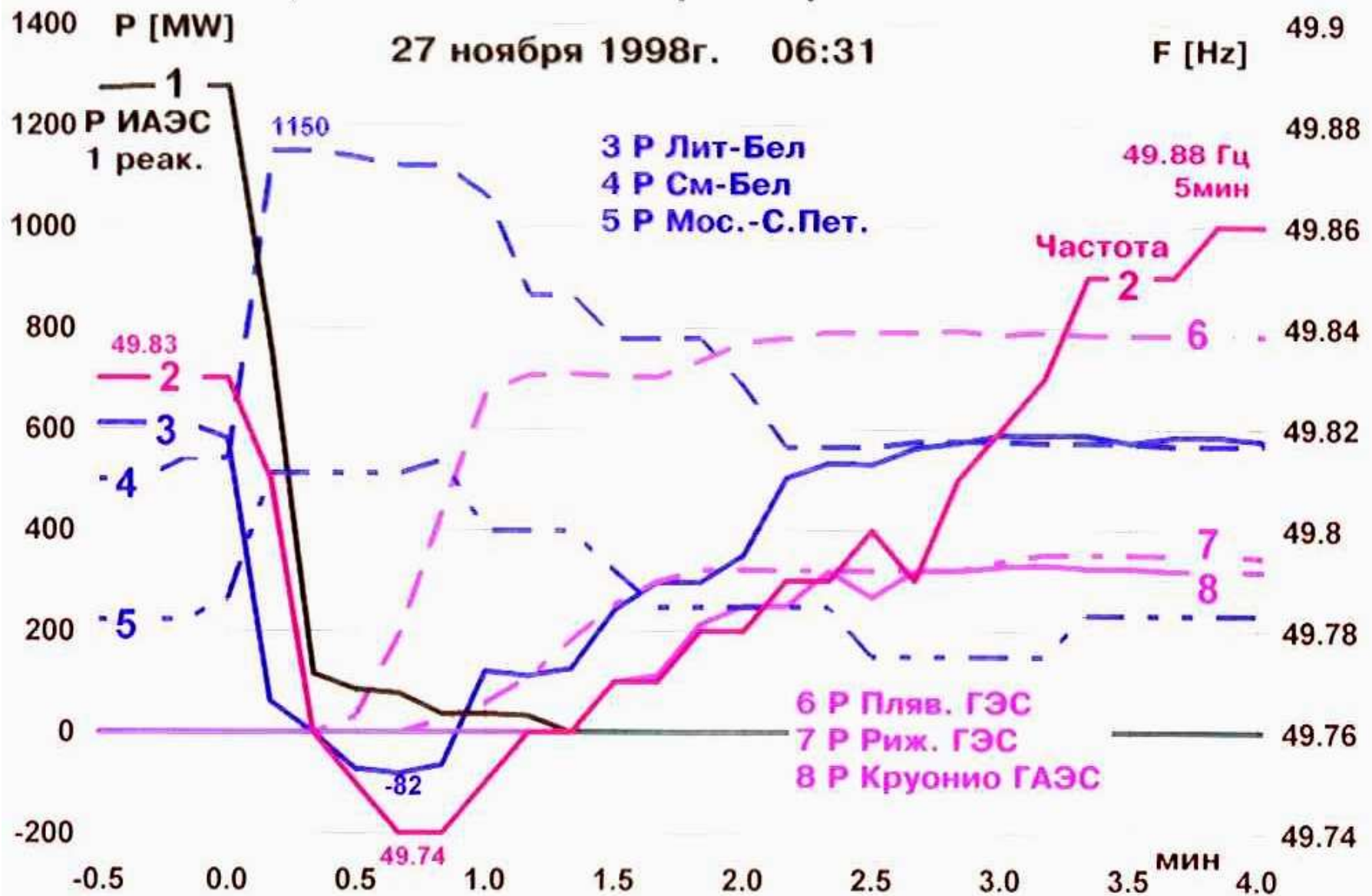
Reservide küsimus äärmiselt oluline

- Süsteemis peavad olema piisavad reservid:
 - mis võimaldaksid osaliselt kohe hakata tasakaalustama tekkivat ebastabiilsust
 - Sekundaarsed reservid
 - Kolmanda astme reservid
- Reserve peab olema nii palju kui suur on süsteemi suurim tootmisüksus
- Osa reservidest võivad piisavate ülekandevõimsuste puhul paikneda naabersüsteemides ja kui nende kasutamiseks on sõlmitud vajalikud kokkulepped



Balancing of system after disturbance (tripping) of nuclear unit





Järeldused

- Tehniliselt on võimalik alates 2025 aastast integreerida Eesti elektrisüsteemi 1000 MW reaktor
- Lähtudes arvatavast sisemisest nõudlusest ja süsteemi stabiilsuse tagamise vajadusest oleks 500 – 700 MW jaam optimaalseks lahenduseks
- Olemas peavad olema adekvaatsed reservid
- Suurema tootmisüksuse integreerimisega seonduvaid riske saab tasakaalustada:
 - suurema turupiirkonna liitudes ja/või
 - suurema ülekandevõimsusega ühenduste väljaehitamise abil
 - kaaluda võib energiat salvestavate üksuste (pumphüdroelektrijaam) rajamist



Tuumajaama võimalikest asukohtadest



Tuumajaama asukohale seatavad tingimused

Esialgse valiku kriteeriumid:

- Inimtegevuse aktiivsusest valitud piirkondades
- Jahutusvee kättesaadavus
- Koostootmise võimalus
- Maatükkide arvatavad geoloogilised olud
- Magevee kättesaadavus
- Infrastruktuuri olukord
- Looduskaitsealased piirangud
- Jaama füüsilise kaitse tagamise võimalused jms.



Tuumajaama võimalike asukohtade uuring Loode-Eestis



Tuumajaama võimalike asukohtade uuring Kirde-Eestis



EPZ ulatus juhul kui tuumajaam ehitatakse Maardu karjääri



Koostootmise võimalikkusest

Mart Ehtmaa (EE elektritootmise arendamise osakond) magistritöö (TTÜ)
aastast 2009:

Paldiski lähistel asuvast SEJ-st Tallinna soojus-varustuse tagamise tehniline ja majanduslik analüüs

- Torustiku pikkus ca 60 km ja optimaalne läbimõõt ca 600 mm
- Analüüs koostati antud hetkel kehtinud hindade baasil
- Tallinna piirkonna keskmist välisõhu temperatuuri silmas pidades on maapeale paigaldatud torustiku soojuskaoks 4,1% ja tasuvuse aeg ca 3,5 aastat



Geoloogia-alaste andmebaaside* alusel koostati valitud asukohtade geoloogia alane uuring

Uuringu käigus hinnati:

- Piirkondade ja maatükkide seismilist olukorda
- Maakoore lõhede olemasolu
- Pinnasekihtide jaotumise ühtlust
- Pinnasekihtide kivimilist, mineraalset ja keemilist koostist ning nende tugevusomadusi
- Põhjavee olukorda ja selle mõju kaevetöödele
- Aluspõhjakivimi sügavust pinnakihist

* Eestis on puuritud üle 500 sügavpuuraugu, mille andmed on kättesaadavad Eesti Geoloogiakeskuses



Geoloogiliste uuringute programm Suur-Pakril

SISUKORD:

LÄHTEÜLESANNE 1: KOHAVALIKU GEOLOOGILISED ASPEKTID

- Taustmaterjali kogumine geoloogiafondidest, arhiividest ja publikatsioonidest
- Ala seismoloogiline analüüs
- Ala ja sellega piirneva maismaa ja merepõhja murrangute uuringud
- Geotehniliste ohtude uuringud maismaal
- Pinnase ja aluspõhja geotehniline ja hüdroteoloogiline iseloom
- Võimaluste analüüs ja eeluuring rajada tuumajaama lähedusse ohutusnõuetele vastav tuumajäätmete ladestuspaik
- Ühendav ja seostav kokkuvõte

LÄHTEÜLESANNE 2: EELUURING JAHUTUSVEE SÜSTEEMI JA MAANTEETAMMI RAJAMISEKS

- Jahutusvee süsteemi rajamise ehitusgeoloogiline eeluuring
- Maanteetammi rajamise ehitusgeoloogiline eeluuring



Seadusandlusest - rahvusvahelised kohustused

- Tuumaenergeetika on väga rahvusvaheline ärivaldkond ning selle arendamise eelduseks on erinevate rahvusvaheliste lepingute, konventsioonide ja organisatsioonidega liitumine.

Mh. tuleb võtta siduvad kohustused:

- massihävitusrelvade levikuga võitlemise osas
- tuumamaterjalide füüsilise kaitse osas
- õnnetusjuhtumitest teavitamise ja partnerite abistamise osas
- tuumaohutuse tagamise osas
- kasutatud tuumakütuse ja -jäätmete käitlemise osas
- jne, jne.

Kuna Eesti on EL-i liikmesriik ja nimetatud lepingud on osaks EL-i õigusest, siis on Eesti kõik kirjeldatud kohustused juba võtnud. Väliseid takistusi tuumaenergeetika arendamiseks ei ole



Seadusandlusest - siseriiklik seadusandlus

- Eestil on olemas Kiirgusseadus, mis sisaldab mõningaid olulisi tuumaenergeetikaga seonduvaid elemente, kuid pole kaugeltki piisav tuumaprojekti algatamiseks
- Lisaks sisaldavad tuumaenergeetikaga seonduvaid olulisi elemente ka Planeerimisseadus ning tuumaprojekti keskkonnamõjude hindamist reguleeriv seadusandlus, kuid need pole kaugeltki piisavad tuumaprojekti algatamiseks
- Tuumaenergeetika arendamiseks vajab Eesti tuumaenergeetika seadust, selle rakenduslikku määrust, tehnilisi juhendeid tuumaobjektide opereerimiseks jms.
- Eesti energiamajanduse strateegia näeb ette, et tuumaenergeetika seadus peab valmima hiljemalt 2012 aastaks. Hetkel tegeleb selle projekti koostamisega ministeeriumide vaheline komisjon



Seadusandlusest - siseriiklik seadusandlus

Tuumaenergeetika seadus määrab kindlaks:

- Eesti tuumaenergeetika üldpõhimõtted
- Tuumaprojekti algatamise protsessi
- Tuumarajatise mõiste ja sellele kehtestatavad nõuded
- Tegevuslubadega seonduva
- Radioaktiivsete jäätmete käitlemise põhimõtted
- Tuumamaterjali arvestuse
- Jaama ohutuse ja füüsilise kaitse põhimõtted
- Hädaolukordadega seonduva
- Tuumarajatise järelevalve
- jne, jne.



Töøjõu vajaduse hinnang

- Tuumaenergeetika kasutuselevõtt eeldab vajaliku eriharidusega inimeste olemasolu. Lühemas perspektiivis võib vajamineva kompetentsi sisse osta. Pikemas perspektiivis on vaja välja arendada oma võimekus
- Tuumajaama opereerimine ei vaja väga suurt hulka tuumaenergeetika alaste teadmistega spetsialiste. Väga kitsast kompetentsivaldkonda katvatele spetsialistidele on otstarbekas pakkuda lühemaid kursuseid (kuni 1 aasta)
- Spetsialiste ei vaja mitte ainult ettevõtte vaid ka asjakohased ministeeriumid ja loodav Tuumaohutuse regulaator
- Tuumajaama hooldusega tegelevate tehnikute, lukkseppade, keevitajate jms. tuuma-alasele kvalifikatsioonile kõrgeid nõudeid ei esitata. Neile piisab tavaliselt konkreetsete tööoperatsioonide eel antavatest töökäskudest ja ohutuse alastest instruktsioonidest



Olulisemad kvalifikatsioonid tuumajaama opereerimisel

- Tuumajaama tehniline direktor ja tema asetäitjad (2-3 tk)
- Tuumafüüsikud (2-3 tk)
- Radiokaitse ja tuumajäätmete käitlemine (2-3 tk)
- Radiokeemia (2-3 tk)
- Materjalide õpetus ja tugevusarvutused (2 tk)
- Tuumaohutuse alased arvutused (2 tk)
- Kvaliteedijuhtimine (2-3 tk)
- Kvaliteedikontroll (2 tk)
- Keemikud (2-3 tk)
- Termohüdraulika (2 tk)
- Termodünaamika ja aurutehnoloogia (2 tk)
- Tuumajaama opereerimise, hoolduse ja tuumaohutuse juhid (5 tk)
- Tuumakütuse haldamise juht (1 tk)
- Hädaolukordadele reageerimise juht (1 tk)



Tuumajaama vahetu opereerimisega seonduvad kvalifikatsioonid

- Tuumajaama opereerimise vahetuste juhid (6-7 tk)
- Tuumajaama juhtimisruumi operaatorid (12-15 tk)
- Hooldusinsenerid (5 tk)
- Tehnilise toe insenerid (2-6 tk)

Tuumajaama opereerimisel vajalike akadeemilise haridusega inimeste hulk on umbes 50 inimest. Juhtivkoosseisu ettevalmistamine peaks algama etapiviisiliselt juba tuumaprojekti arendamise algfaasis

Lisaks akadeemilise haridusega spetsialiste Tuumaohutuse regulaator. Regulaatori mehitatus sõltub väga oluliselt regulaatorile esitatavatest ülesannetest. Minimaalne vajadus alates 20 inimesest.

- Eestis täna vajalikud kompetentsid puuduvad, kuid Eesti juhtivad ülikoolid on koostöös Stockholmi Institute of Technology ja EE'ga algatanud projekti tuumaenergeetika õppekava väljatöötamiseks



Tuumajäätmete käitlusest

- Väikese riigi tuumaprogrammi majanduslik jätkusuutlikkus sõltub otseselt jäätmekäitluse programmi efektiivsusest
- Kõiki arenguvõimalusi ettenägev jäätmekäitluse strateegia peab olema valmis juba enne tuumajaama ehituse algust.
- Lähtuda tuleb sellest, et regionaalseid jäätmeheidlaid pole täna olemas st. lõpplahenduse leidmine jääb tuumajaama asukohariigi enda kanda
- Jäätmeheidla (ka lõplik) peaks jääma tuumajaama asukoha lähedale. Üleriigiline planeerimise koos vajalike uuringute algamisega on “ajalooline võimalus” geoloogidele, kuid võib samas hävitada tuumaprogrammi ökonoomika



Eesti võimalik radioaktiivsete jäätmete käitlemise strateegia (1)

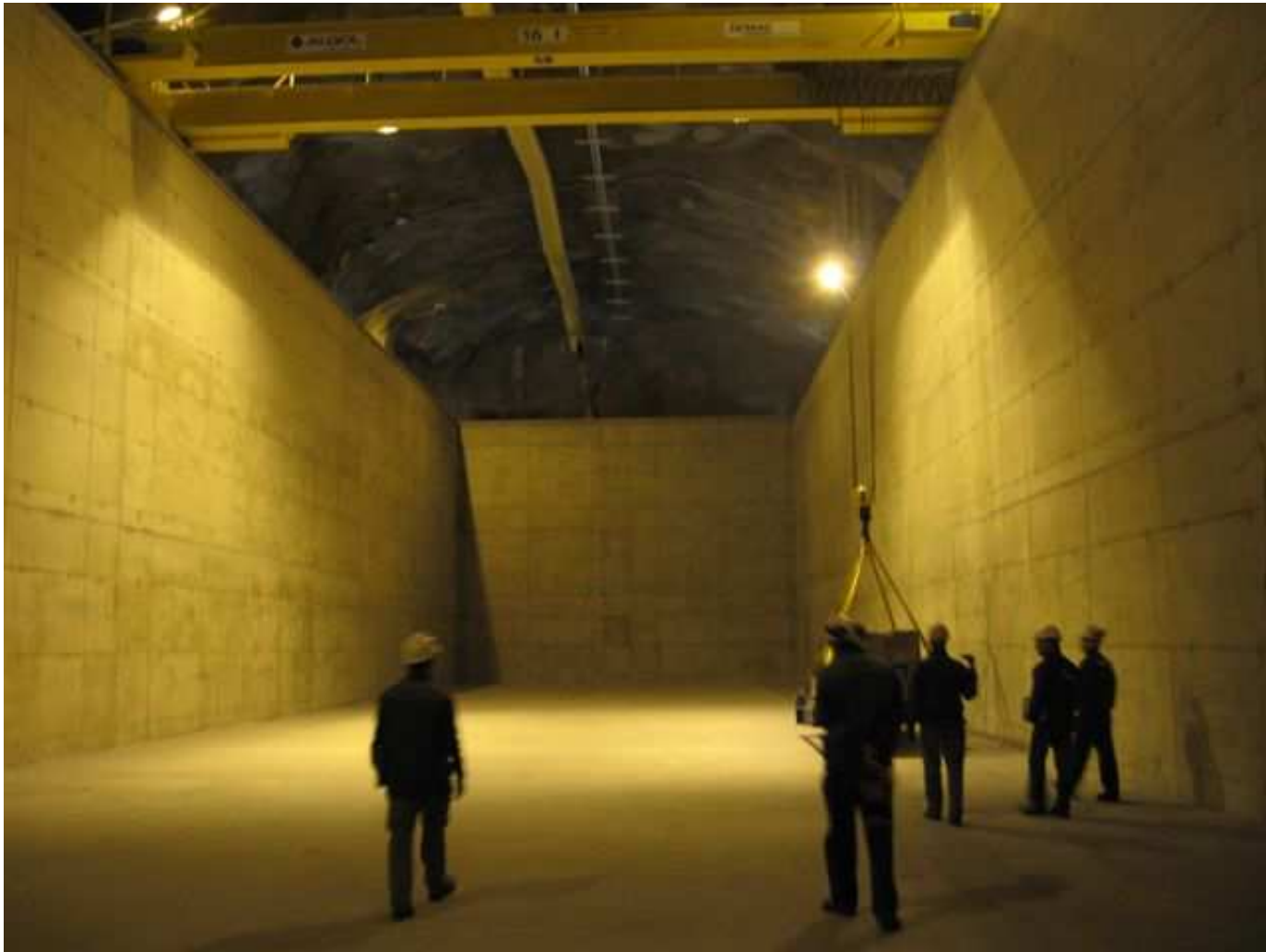
- tuumajaama käikuandmisel peab jaam olema varustatud madala ja keskmise aktiivsusega radioaktiivsete jäätmete hulga efektiivse vähendamise strateegia ja vajalike seadmetega
- ca. 5-15 aastat peale tuumajaama käiku andmist tuleks ehitada madala- ja keskmise aktiivsusega radioaktiivsete jäätmete tahkestamise ja konserveerimise seade
- ca. 25-35 aastat peale tuumajaama käikuandmist tuleks tuumajaama territooriumile ehitada madala ja keskmise radioaktiivsusega jäätmete hoidla. Soovitavalt maa-alla (ca. 50-100 m), võimalik ka maapeale või maapinna lähedale.



Madala radioaktiivsusega jäätmete hoidla



Keskmise radioaktiivsusega jäätmete hoidla



Eesti võimalik radioaktiivsete jäätmete käitlemise strateegia (2)

- kasutatud tuumkütus tuleks esmalt panna ca 10-20 aastaks vahehoidlasse jahtuma. Siis tuleks lähtudes tuumkütuse turu olukorrast:

-- saata kasutatud tuumkütus ümbertöötlemisele või;

-- tagastada/müüa kasutatud tuumkütus kütuse tarnijale/tootjatele

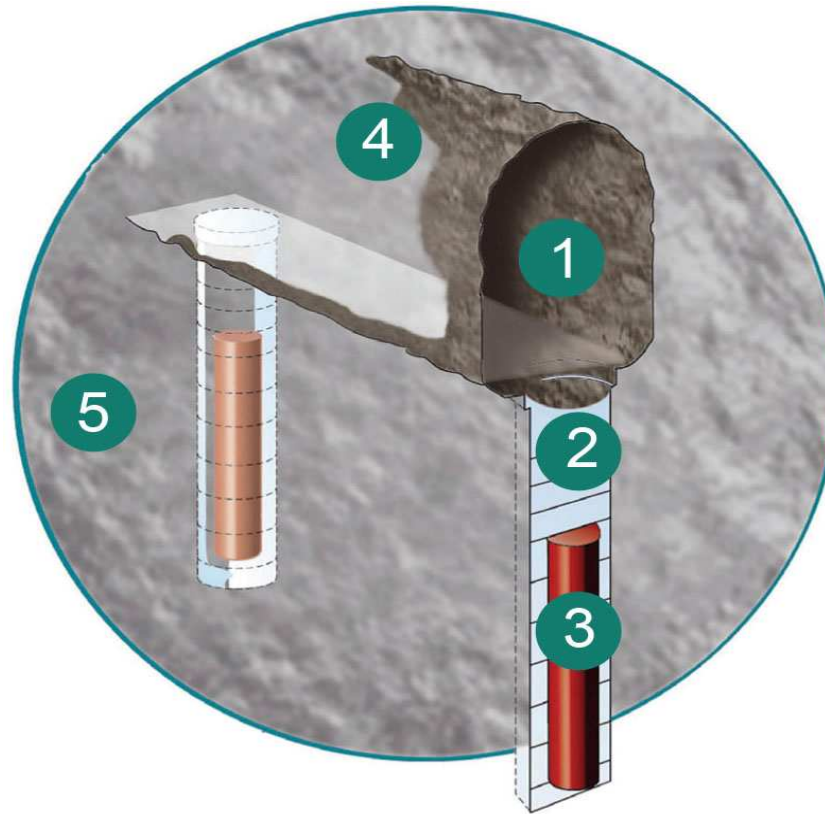
- juhul, kui kasutatud kütust tagastada/müüa ei õnnestu tuleks ca. 40-50 aastat peale tuumajaama käikuandmist ehitada kasutatud tuumkütuse ja/või selle töötlemise jääkide tarbeks tugeva aluskorra kivimitesse (ca 400 m sügavusse) nende alaliseks hoiustamiseks hoidla. Kasutatud tuumkütuse ümbertöötlemise korral oleks jäätmete maht oluliselt väiksem ja hoidla rajamise kulud samuti väiksemad. Soovitav on hoidla rajada tuumajaama territooriumile madala ja keskmise aktiivsusega radioaktiivsete jäätmete hoidla edasiarendusena.

- peale tuumajaama sulgemist (ca. 60 aastat peale käikuandmist) tuleks madala ja keskmise aktiivsusega radioaktiivsete jäätmete hoidlat laiendada tuumajaama lammutamisel tekkivate radioaktiivsete jäätmete ladustamise jaoks.

NB! Hinnanguliselt moodustab radioaktiivsete jäätmete käitlemise ja tuumajaama dekomissioneerimise kulu ca 15% elektri hinnast



Tuumakütuse lõppladestamine



1. Disposal tunnel
2. Bentonite
3. Disposal canister
4. Tunnel backfill
5. Host rock



Reaktoritehnoloogia alastest valikutest (1)

- Reaktori valiku esmasteks kriteeriumiteks on selle ohutus, vastavus prognoositavale energiavajadusele ja võrgu tugevusele ning selle ökonoomika
- Ohutuse peamisteks kriteeriumiteks on PRA tulemusel saadud arvanded ja reaktoritüübi senine käitumine praktikas – oluline on reaktoraastate arv ja selle jooksul juhtunud erinevat liiki avariide arv
- Reaktori ökonoomika peamisteks kriteeriumiteks on kW maksumus, töövõime, kütuse kulu ja jäätmete maht
- Aja jooksul on ehitatavate reaktorite keskmine võimsus kogu aeg kasvanud kuna oluliseks on peetud mastaabisäästuefekti saavutamist



Reaktoritehnoloogia alastest valikutest (2)

Tänapäeval ehitatakse rahvusvaheliste tehnoloogiataarnijate poolt ainult III/III+ põlvkonna reaktoreid. Võrgu tugevuse ja nõudluse kontekstis sobivaid reaktoreid on turul vähe:

1. AP 1000 (1080 MW, III+ Gen, Westinghouse)
2. ATMEA (1000 MW, III+ Gen, Areva + MHI)
3. EC 6 (740 MW, III Gen, AECL)
4. AP 600 (600 MW, III+ Gen, Westinghouse)
5. VVER 600 (600 MW, III+ Gen, Atomstroyexport)
6. IRIS (325 MW, III+ Gen, Westinghouse)
7. mPower (125 MW, III+ Gen, Babcock and Wilcox)

Nimetatutest tehnoloogiatest ainsana omab arvestatavat kogemust EC 6 tehnoloogia. Samas on selle tehnoloogia poolt toodetavate jäätmete maht 4-5 korda suurem kui tavalistel kergeveereaktoritel. Candu jäätmemajanduse detailne uuendatud analüüs valmib ca 2011 aastal.



Tuumaprojekti finantsaspektidest

- Tingituna finantsmulli lõhkemisest nn. projektifinantseerimine enam ei tööta
- Äärmiselt oluline on riskide jagamine tehnoloogia tarnijate, pankade ja ekspordikrediidiorganisatsioonide, klientide, valitsuse, aktsionäride jne vahel
- Väiksel ja tuumaenergia kogemusega riigi ettevõttel on väga raske ilma riigi tugeva toetuseta ja strateegilise partneri olemasoluta finantspaketti kokku saada
- Äärmiselt soovitatav on vältida FOAK tehnoloogiat
- Kui projekti arvestuslik tootlus jääb alla 5% tasub sellest kohe loobuda



Kokkuvõtteks

- Tuumaenergeetikat tuleb eelkõige vaadata, kui baaskoormuse katmise võimalikku allikat. Energiaallikat, mis vahetab välja põlevkivist toodetava elektri
- Tuumaenergia kasutuselevõtt tundub tänasel päeval energiapoliitiliselt kõige väiksema riskiastmega investeeringuna olles vähe mõjutatud fossiilsete kütuste hinnatasemetest ja CO2 emissioonide vastasest võitlusest
- Otsust tuumajaama rajamiseks Eestisse pole tehtud, kuid on alustatud ettevalmistavate töödega, mis võib teha selle tulevikus võimalikuks. Selleks, et see muutuks reaalsuseks peaks riik hakkama sellesse reaalselt panustama
- Tuumaenergia kasutuselevõtt eeldab väga suure ja pikaajalise ettevalmistus töö läbiviimist – eelkõige seadusandlusega, kaadrite väljaõppega, sobiva asukoha leidmisega, pädeva rahvusliku regulaatori loomisega, inimeste informeerimisega, raha ja partnerite leidmisega jne.
- Seadusandluse ja haritud inimeste olemasolu ei anna veel kogemust, mis viitab tuumaenergeetika võimalikkusele Eestis pigem pikemas perspektiivis
- 10 aasta perspektiivis on tuumaenergeetikasse sisenemiseks võimaluseks Leedu projekt, Eesti on kaugem perspektiiv – mitte enne 2025 aastat



Energiasüsteemi strateegiline arendamine

Loengute ajakava

- 31. aug. - Raine Pajo. Sissejuhatus. Strateegiline arendamine energeetikas.
- 7. sept. - jääb loeng ära.
- 14. sept. - Raine Pajo. Strateegiline arendamine energeetikas, järg.
- 21. sept. - Tõnis Meriste. Keskkonnakaitse roll energeetika strateegia arendamisel.
- 28. sept. - Ando Leppiman. Taastuvenergeetika ja selle väljakutsed.
- 5. okt. - Andres Tropp. Tuumaenergeetika ja selle väljakutsed.
- 12. okt. - Andres Tropp. Tuumaenergeetika ja selle väljakutsed.
- 19. okt. - Innar Kaasik. Võrguettevõtete strateegia. Nutikas elektrivõrk.
- 26. okt. - Innar Kaasik. Võrguettevõtete strateegia. Nutikas elektrivõrk.
- 2. nov. - Andres Anijalg. Vedelkütused põlevkivist.
- 9. nov. - Andres Anijalg. Vedelkütused põlevkivist.
- 16. nov. - Aivar Tihane. Elektrimüügi strateegia ja väljakutsed.
- 23. nov. - Margus Vals. Energiakaubandus, seos tootmisega ja strateegia.
- 30. nov. - Jaanus Arukaevu. Strateegia energeetikas.
- 7. dets. - Raine Pajo. Praktiline näide strateegilise otsuse kohta energeetikas, kokkuvõte.

