



Ilmar Puskar

Tallinn 23.01.2026

Tuumajäätmete
tulevik

Ettekande teemad

1. Tuumkütusetsükel ja tuumajäätmed
2. Kasutatud tuumkütus ja selle vaheladustamine
3. Suletud tuumkütusetsükel
4. Kiired neutronreaktorid
5. Lõppladustamine

Erinevate tuumajäätmete osakaal maailmas 2016. aasta inventuuriandmete põhjal

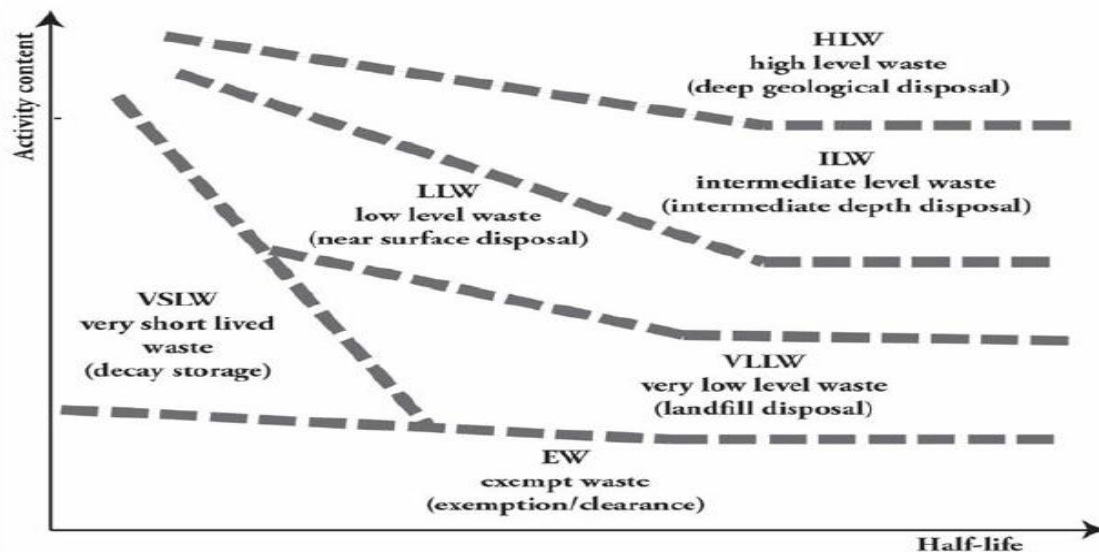


FIG. 2. Conceptual illustration of the waste classification scheme [1].



2. Kasutatud tuumkütus ja selle vaheladustamine

Kasutatud tuumkütus koosneb kolmest põhikomponendist:

- üle 95% on väheradioaktiivne uraan
- umbes 4% moodustavad lõhustusproduktid
- ligikaudu 1% on plutoonium ja teised väikeaktiniidid, mis määravad kütuse pikaajalise ohtlikkuse

Kasutatud tuumkütuse vaheladustamine „märg vaheladustamine“



Central Interim Storage Facility (CLAB), Sweden. Image: SKB

„Märg vaheladustamine“

- Kütus ladustatakse vee all jahutusbasseinides
- Võimaldab pidevat jälgimist, inspekteerimist ja vajadusel parandamist
- Lõppladustuspaiga valmimisel saab kütuse pakendada otse sobivatesse konteineritesse
- Peamiseks puuduseks on kõrge maksumus ja karmistunud ohutusnõuded

„Kuiv vaheladustamine“



Duchovani TEJ vaheladustuspaiga kaheotstarbelised kuivladustuse konteinerid



Holtec's HI-STORM 100 maapealsed kuivladustuse konteinerid.

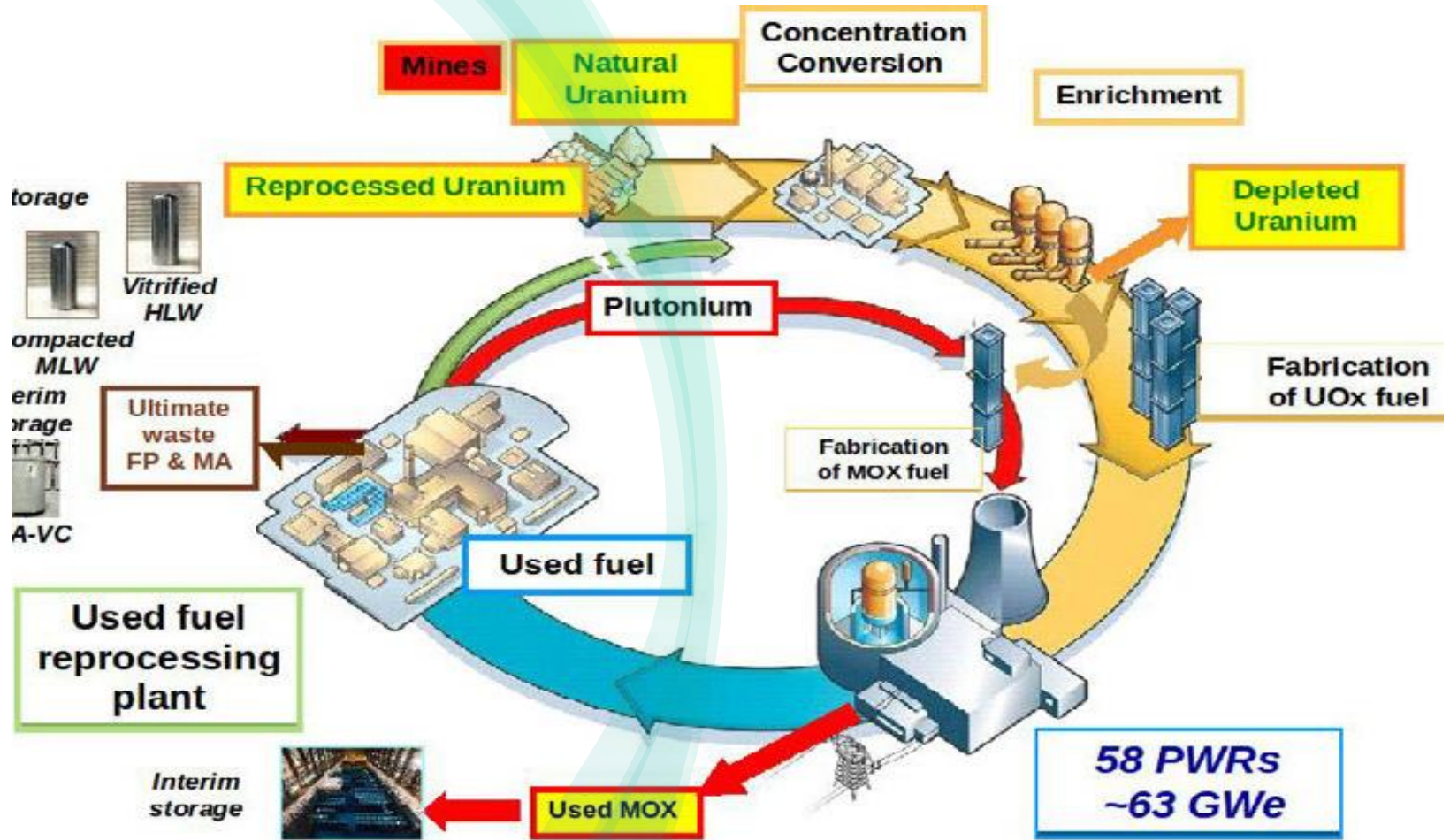


COVRA kõrgaktiivsete jäätmete vaheladustamise rajatis

„Kuiv vaheladustamine“

- Kütus paigutatakse hermeetilistesse kuivkonteineritesse
- Oluliselt soodsam kui märg vaheladustamine
- Kahetise kasutusega konteinerid on transporditavad ja pikaajaliseks ladustamiseks sobivad
- Väljakutseks on kütuse vananemine ja ümberpakendamise keerukus enne lõppladustamist

3. Suletud tuumkütusetsükkel



Kasutatud tuumkütuse ümbertöötlemine

Ümbertöötlemisel eraldatakse:

- uraan
- plutoonium
- kõrgaktiivsed jäätmed (HLW)

Uraan ja plutoonium suunatakse uue kütuse tootmisse, HLW jääb lõppladustamiseks.

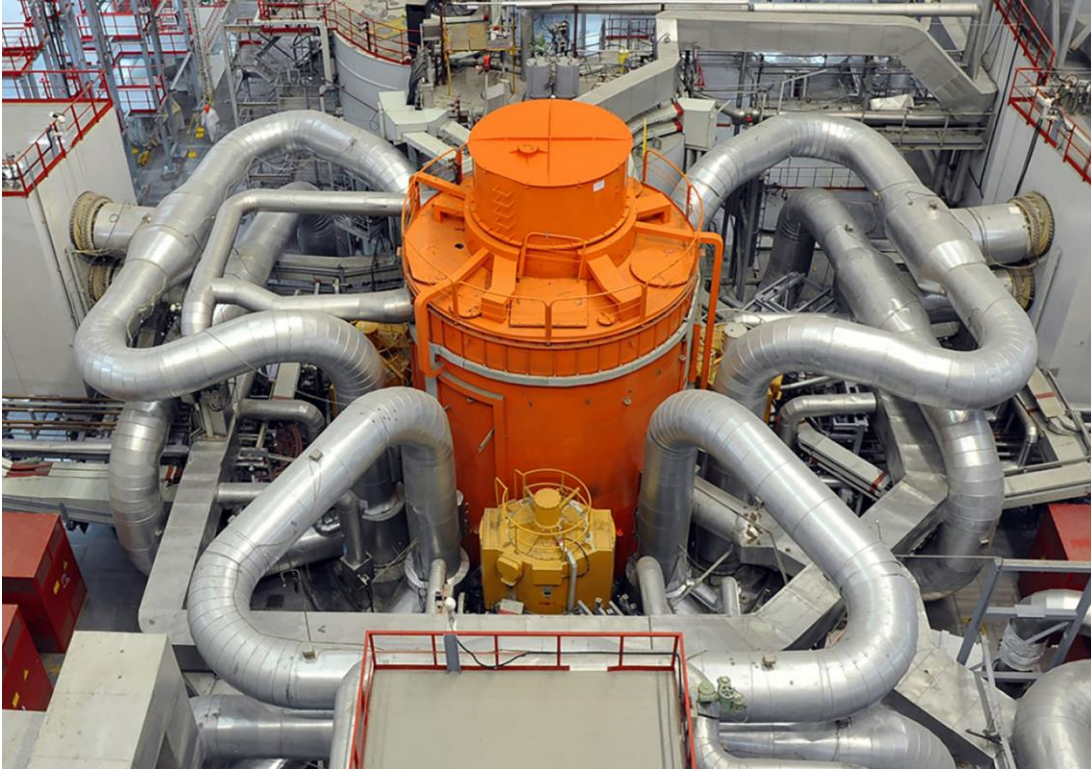
Ümbertöötlemise eelised

- Vähendab kõrgaktiivsete jäätmete kogust ligikaudu viis korda
- Alandab jäätmete radiotoksilisust umbes kümme korda
- Parandab loodusliku uraani kasutust ja energiajulgeolekut
- Võimaldab standardiseeritud ja optimeeritud lõppladustamist

Ümbertöötlemise piirangud

- Tehnoloogiliselt keeruline ja väga kulukas
- Plutooniumi eraldamine nõuab rangeid julgeolekumeetmeid
- Kasutatud MOX-kütus ja HLW vajab siiski süvageoloogilist lõppladustamist
- Kõrgaktiivse kütuse transport on alati riskantne

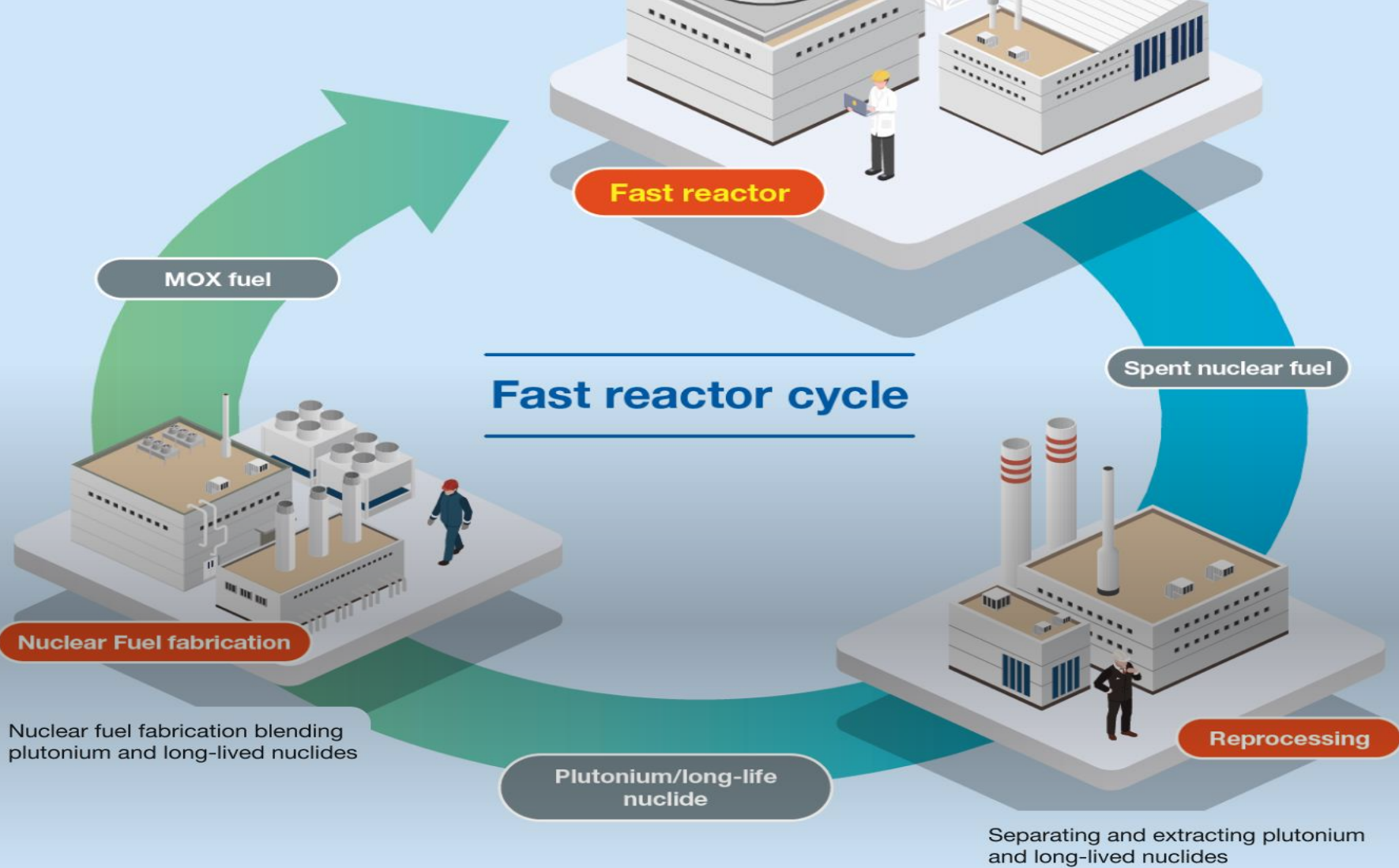
4. Kiired neutronreaktorid



BN-800 reaktor Belojarski elektriijaamas Venemaal

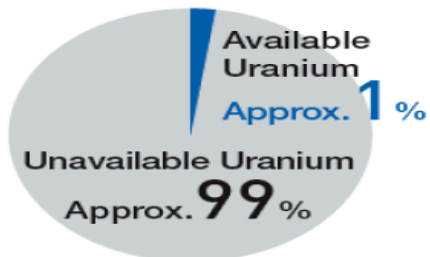
Kiirreaktorite roll

- Võimaldavad suletud tuumkütusetsükli tegelikku rakendamist
- Suudavad põletada väikeaktiivseid
- Vähendavad jäätmete pikaajalist ohtlikkust ja ladustamisvajadust
- Peamiseks piiranguks on kõrge hind ja majanduslik tasuvus



Kiirete neutronitega reaktorite kasutamine
tuumkütusetsükli täielikuks sulgemiseks

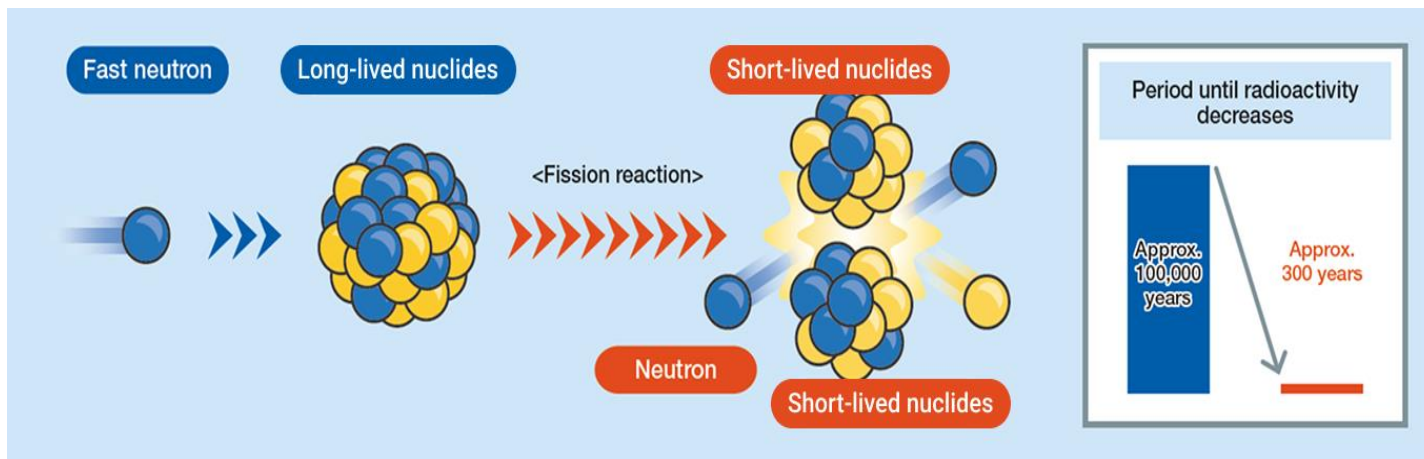
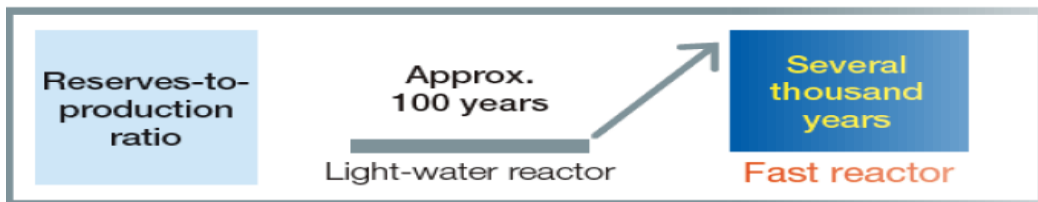
Using a fast reactor will make it possible to use even non-burnable uranium!



Present nuclear power generation



Fast reactor



5. Lõppladustamine

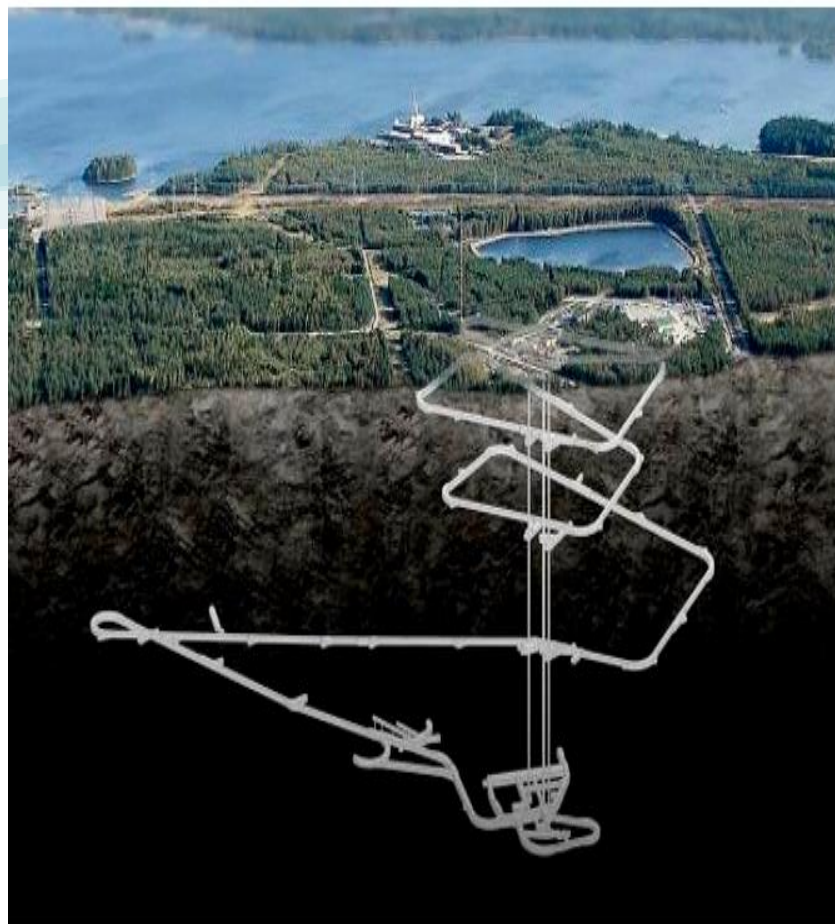
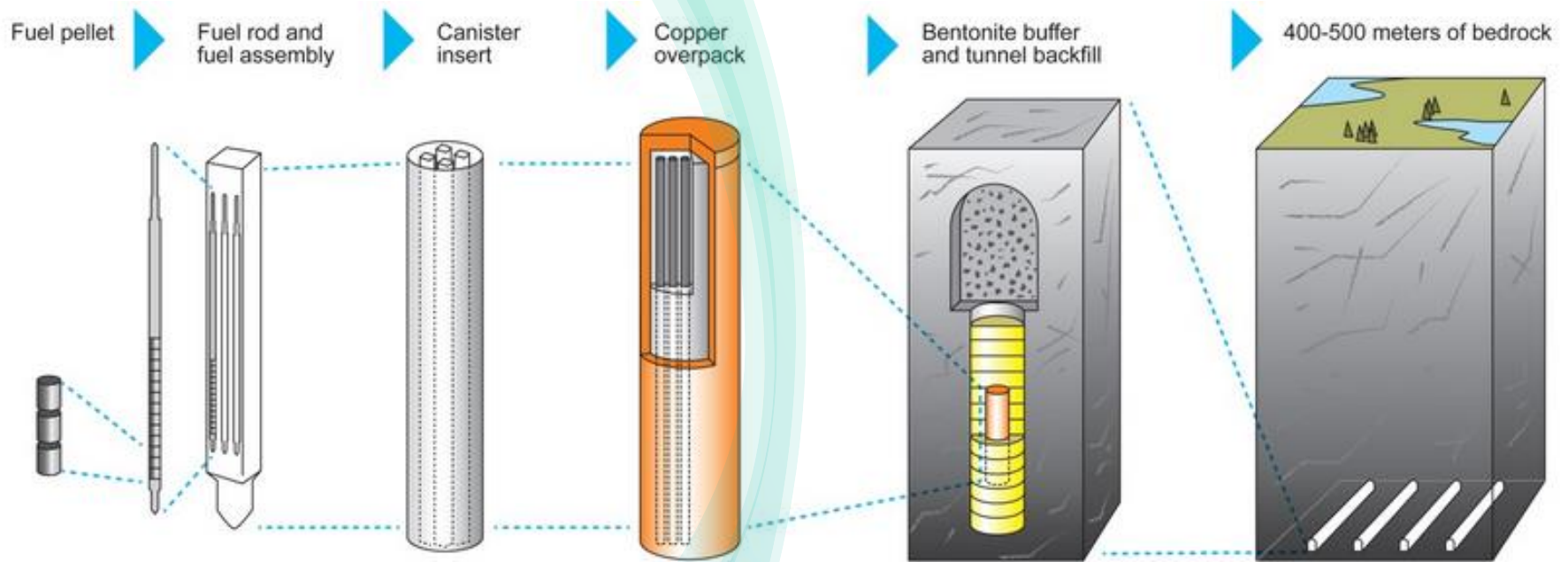


Diagram of the underground used fuel repository at Olkiluoto (Image: Posiva)

Süvageoloogiline lõppladustamine

- Jäätmed paigutatakse sadade meetrite sügavusele stabiilsesse geoloogilisse keskkonda
- Kasutatakse tunneleid või kambrilisi hoidlaid
- Lahendus põhineb passiivsel ohutusel

Mitme barjääriga lõppladustamise kontseptsioon



Multi-barrier disposal concept (Image: Posiva)

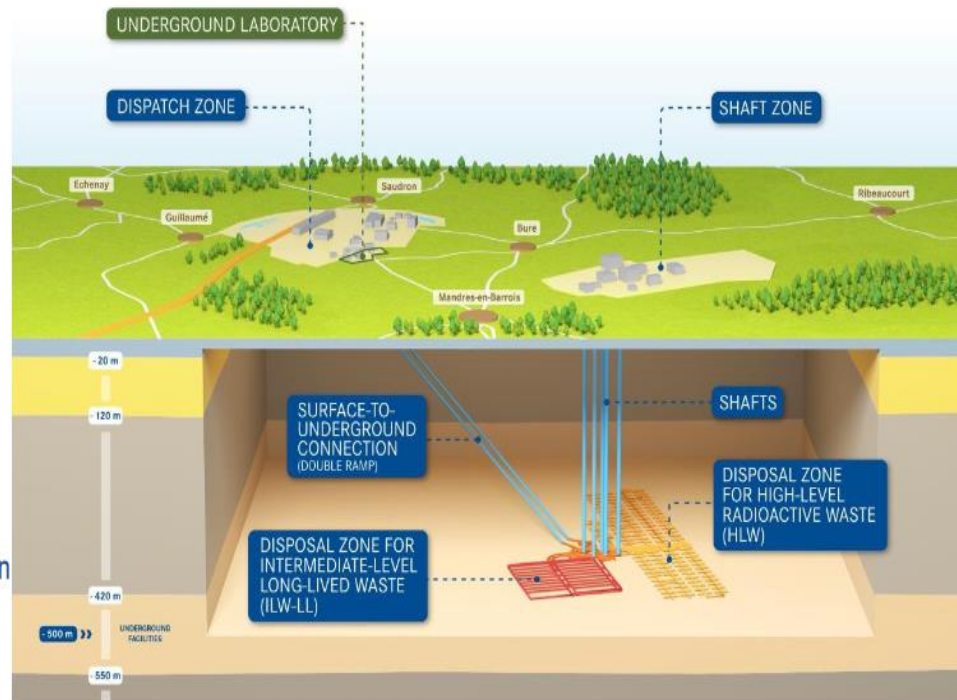
500 metre depth

15 km² of underground footprint

85000 m³ of waste

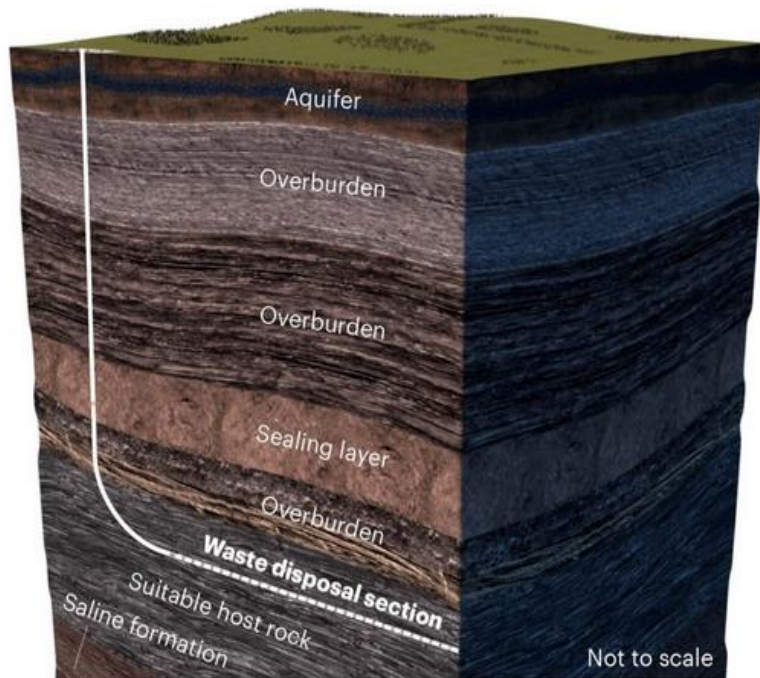
120 years of operation

25 bn Euros



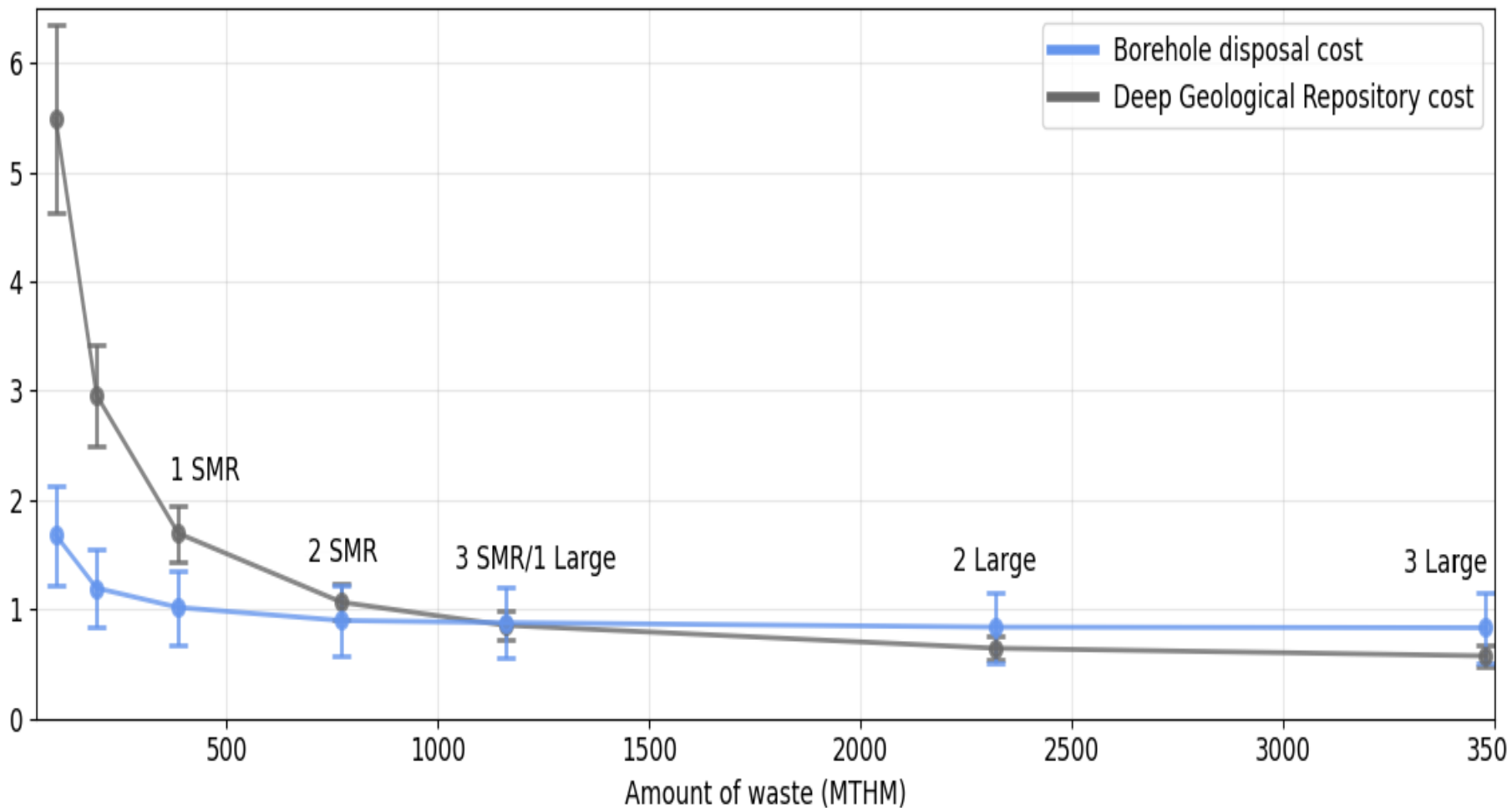
Haute-Marne'i haldusüksuste piirile rajatud Cigéo on kavas avada 2035. aastal. Jätmeid hoiustatakse maapinnast 500 meetri sügavusele õõnestatud maa-alustes käikudes stabiilses geoloogilises keskkonnas, mis on tehtud läbitungimatusse savikivisse.

Lõppladustamine süvapuuraukudesse



Jäätmed paigutatakse kuni 1500 m sügavusele aluspõhjakiivimisse

Alumine horisontaalne osa sisaldab jäätmeid, ülemine suletakse püsivate materjalidega



Võib osutada kulutõhusaks väikeste jäätmekoguste korral

Regionaalsed lõpphoidlad

- Kõigil riikidel ei ole sobivat geoloogiat ega ressursse
- Ühine regionaalne hoidla võib olla majanduslikult otstarbekas
- Õiguslikud ja poliitilised takistused on seni lahendamata

Tuumkütuse liisimine

- Kütus renditakse tarnijariigilt
- Kasutatud kütus tagastatakse tarnijale
- Vähendab vastuvõtva riigi pikaajalisi kohustusi
- Praktikas kasutatakse väga piiratud ulatuses

Kokkuvõte

- Tuumajäätmete ohutuks käitlemiseks on olemas toimivad tehnilised lahendused
- Suletud tuumkütusetsükkel ja kiired neutronreaktorid võivad jäätmeprobleemi oluliselt leevendada
- Otsused nõuavad pikaajalist vastutust ja ühiskondlikku kokkulepet

TÄNAN!

Radioaktiivsete jäätmete käitlemine Eestis_ Valmisolek
teadliku kohustuse võtmiseks tuumaenergiaprogrammi
suhtes_tõlge.pdf