

# Analüüs ja ettepanekud energia salvestusturu käivitamise kohta

Vahearuanne 1 **PROJEKTIVERSIOON**

---

Juuni 2022

---

Finants**Akadeemia** OÜ

Koostajad:

Olavi Grünvald

Ülo Kask

Siim Link

# Sisukord

1. Kasutatud lühendid.....	3
2. Sissejuhatus ja kokkuvõte olulisest.....	4
2.1. Sissejuhatus.....	4
2.2. Kokkuvõte olulisest.....	5
3. Salvestustehnoloogiate analüüs .....	12
3.1. Salvestamisest üldiselt .....	12
3.2. Tehnoloogiate ülevaade .....	20
3.2.1. Elektrienergia salvestamise tehnoloogiad.....	20
3.2.2. Soojuse salvestamine.....	29
3.3. Valitud lahendused eelisarendamiseks.....	36
4. Meetmed ja regulatsioonid.....	37
4.1. Üldised taust.....	<b>Tõrge! Järjehoidjat pole määratletud.</b>
4.2. Takistused energiaturul .....	43
4.2.1. Õiguslik-administratiivsed takistused ja meetmed.....	43
4.2.2. Majanduslikud takistused.....	49
4.3. Tegevuskava ja toetusmeetmed.....	53
4.3.1. Tegevused salvestusturu arendamiseks.....	<b>Tõrge! Järjehoidjat pole määratletud.</b>
4.3.2. Toetusmeetmed salvestustehnoloogiatele.....	62
5. LISAD.....	68
5.1. Ekspertgrupi intervjuud.....	68
5.2. Valitud elektrisalvestustehnoloogiate kirjeldused .....	68
5.3. Soojuse salvestamise mehhanismid .....	71
5.3.1. Faasimuutuseta salvestamine .....	71
5.3.2. Faasimuutusega salvestamine .....	76
5.3.3. Energia salvestamine keemiliste protsessidega.....	81
5.3.4. Termokeemilised protsessid .....	83

# 1. KASUTATUD LÜHENDID

CAPEX	Investeering
aFRR	Automaatne sageduse taastamise reserv
CHP	Elektri ja soojuse koostootmisjaam
DSO	Jaotusvõrgu operaator
ELTS	Elektrituruseadus
ESS	Energiasalvestussüsteem
FTM	Salvestamine mõõtmiskoha (mõõtepunkti) ees
FCR	Sageduse hoidmise reserv
HVDC	Alalisvooluühendus ( <i>high voltage direct current</i> )
mFRR	Manuaalne sageduse taastamise reserv
PHEJ / PHS	Pumphüdroelektrijaam / pumphüdrosalvestus
PPA	Elektri otseostu ostuleping
TM	Salvestamine mõõtmiskoha järel
TSO	Ülekandevõrgu operaator
TVT või TRL	Tehnilise valmisoleku tase

## 2. SISSEJUHATUS JA KOKKUVÕTE OLULISEST

### 2.1.1. Sissejuhatus

Käesoleva uuringu eesmärgiks on välja selgitada, milliseid riigipoolseid tegevusi on vajalik ja mõistlik ellu viia selleks, et toetada erinevate salvestustehnoloogiate Eesti energiaturule tulekut ja turul edukat konkureerimist. Seejuures tuleks võimalusel vältida rahalisi otsetoetusi, mis võiksid turu toimimist moonutada ning ka koormata riigieelarvet.

Salvestusele suunab riikliku mõtlemise esmajoones kliimaeesmärkide raames toimuv taastuvenergia areng – salvestus on juhitamatu taastuvenergia mahtude suurenedes olulise tähtsusega. Mida rohkem taastuvenergiat turule tuleb, seda suuremad on potentsiaalselt hinnakõikumised ning salvestus muutub ka äriiselt kasumlikumaks ja majanduslikult vajalikumaks (stabiilsemad ja ka madalamad hinnad). 2021. aasta näitas aga, et turu volatiilsus ei pea kasvama ainult taastuvenergia arengu tõttu.

Kuid salvestus ei aita ainult kaasa kliimaeesmärkidele vaid panustab ka mitme teise eesmärgi saavutamisse nagu:

- energiasõltumatus (julgeoleku) suurendamine;
- energiaallikate mitmekesisus;
- energiasüsteemide toimimiskindlus;
- energiaturgude efektiivsus (teenuste paljusus ja hinna taskukohasus);
- ressursikasutuse efektiivsus (taastuvenergiaseadmete suurem kasutamine);
- energiahindade suurem stabiilsus.

Salvestusseadmed võivad olla projekteeritud töötama liinide koormuse vähendamise suunas, neid liidetakse kohtades, kus täna on võrgu läbilaskevõime puudulik – seda ka kombinatsioonina koos tootmisega.

Kuigi täna on valdav osa (üle 90%) maailma salvestusmahust pumphüdrojaamades, viiakse Euroopa tasandil erinevate tehnoloogiatega ellu pilootprojekte demonstreerimaks, kuidas on salvestamisega võimalik energiaturgudel osutada mitmeid teenuseid ja tekitada sellega energiasüsteemides lisandväärtust. Eestis rajab näiteks TalTech pilootsüsteeme integreeritud lahenduste katsetamiseks Paldiski lähedal ja Tartus, finantseeritakse vesiniku pilootprojekte ning Tartu Ülikoolis uuritakse vooluakude võimalusi. Praktikas toimub pumphüdrojaamade ja mahtsoojussalvestite planeerimine, akulahendusi võetakse kasutusele päikeseelektri väiketootmiste juures ning plaanitakse kasutada ka suuremate päikeseпаркide toetamiseks.

Analüüs tuvastab ekspertidega tehtud intervjuudele toetudes olulisemad takistused salvestuse turul, jaotades need (tinglikult) õiguslik-administratiivseteks ja majanduslikeks. Samuti pakutakse välja meetmeid taksituste kõrvaldamiseks, pääsemata seejuures rahalistest toetusmeetmetest – teatud juhtudel on keeruline leida töötavaid mitterahalisi stiimuleid või siis uusi regulatiivseid nõudmisi, millega soovitud suunas arengut tekitada.

Lisaks ekspertrühma intervjuudele (vt ka Lisa 5.1) teostati avalikult kättesaadavate ning töö teostaja poolt vahendatud materjalide analüüs ning viidi läbi mikrosimulatsioonid (MS Excel programmis) vajalike finantsandmete (sh toetusmeetmete maksumused) leidmiseks.

Aruandes antakse kokkuvõtva osa järel ülevaade salvestustehnoloogiatest (peatükk 3) nii elektri kui ka soojuse salvestamisel ning tuuakse välja viis tehnoloogiat (4 elektri ja 1 soojuse salvestamiseks), millele tuleks uuringu teostajate hinnangul Eesti turul eelkõige keskenduda. Dokumendi neljandas peatükis kirjeldatakse takistusi salvestusturul, meetmeid nende lahendamiseks ning tegevuskava.

## 2.1. Kokkuvõtte olulisest

Tänaseks on elektrituruseadusesse salvestuse mõiste sisse viidud ja õiguslikult defineeritud (25.03.2022 kehtima hakanud redaktsioonis; vt eelkõige § 74<sup>16</sup>).

Eestis täna ei ole veel suuremahulisi elektri ja soojuse salvestusseadmeid, küll aga on planeerimisel 2 pumphüdroelektrijaama ning mõned mahtsoojussalvestid suuremates Eesti linnades. Varases arengujärgus on ka akusalvestuse kasutamine mikrotootjate, suuremate päikeseparkide arendajate ning võrguoperaatorite poolt.

Peatükis 4.2 on loetletud takistusi salvestusturu arengus, toome siinkohal välja mõned:

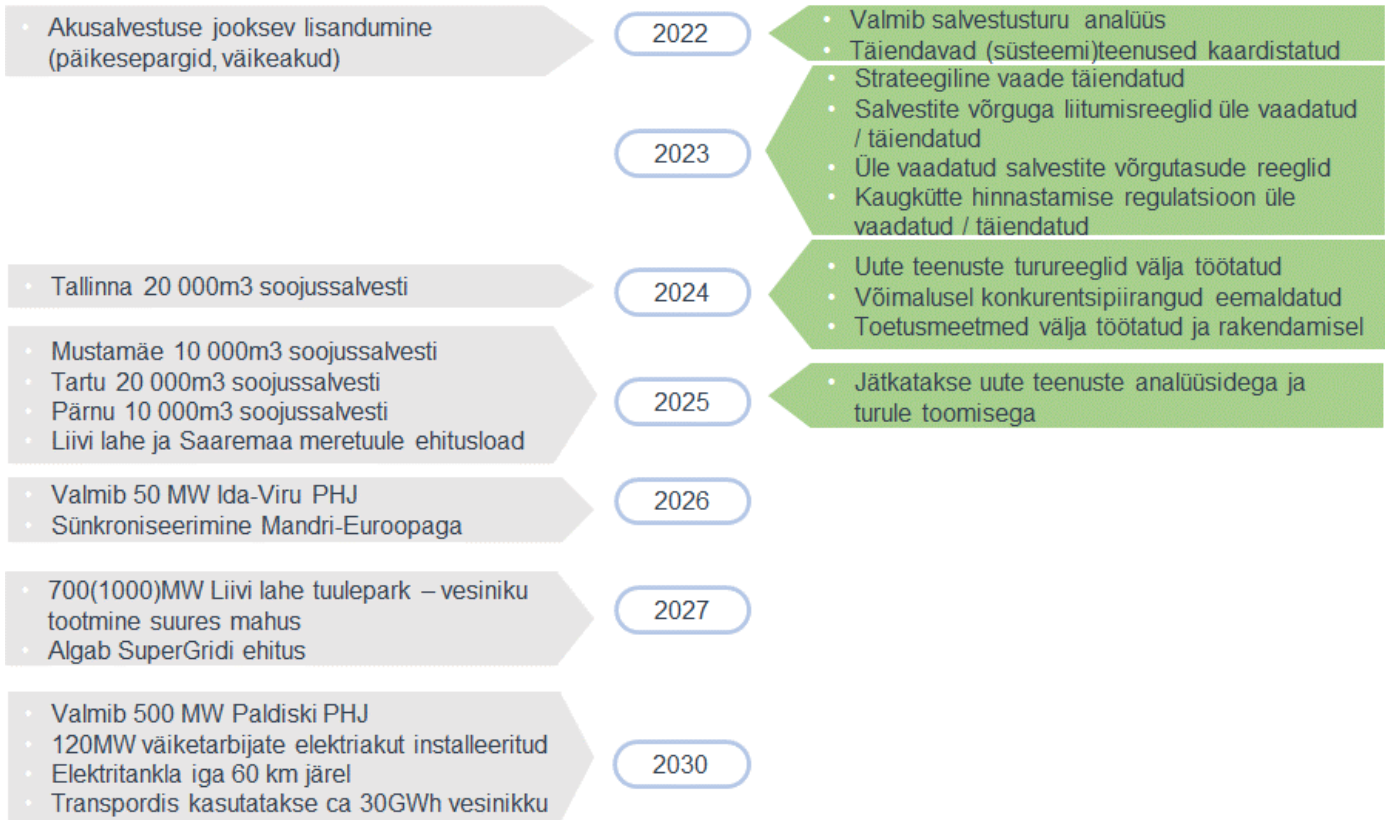
1. Vajadus täiendada elektrisüsteemi strateegilist visiooni;
2. Salvestustehnoloogiate kõrge maksumus;
3. Salvestuse õigusruum vajab täiendamist;
4. Elektri võrgutasude, taastuvenergia tasude ja aktsiisi arvestuse alused ei ole potentsiaalsete investorite hinnangul põhjendatud;
5. Paindlikus(süsteemi)teenuste turg pole (sisuliselt) veel käivitatud ja puuduvad teenuste turureeglid;
6. ...

Käesolevas dokumendis pakutakse välja ettepanekuid salvestusturu käivitamiseks, mille peamised komponendid on järgmised:

- Õiguslik-administratiivsed ja rahalised meetmed takistuste kõrvaldamiseks ning arengu soodustamiseks;
- Institutsioonid, kes teemaga tegelevad ning regulatsioonid, mida tuleks muuta;
- Ajaraamid: millal tegevus võiks olla teostatud;

Tegevused salvestusturu arendamiseks ning olulisemate sündmuste ajaraam on toodud järgenval ajateljel (vt Joonis 1).

## Joonis 1 Eesti salvestusturu võimalikud arengud aegjoonel



### Eestisse sobivate energiasalvestuse tehnoloogiad ja nende toetusmeetmete ettepanekud.

Analüüsi peatükis 3. antakse muuhulgas ülevaade erinevatest elektri (ptk 3.2.1) ja soojuste (ptk 3.2.2) salvestamise tehnoloogiatest, mille turule toomise soodustamiseks võib kasutada ka riiklikke toetusmeetmeid.

Tehnoloogiate riikliku toetamise põhjendused võivad olla järgmised (väikeakupankade näitel):

- Taastuvenergia kasutuse suurendamine (salvestus koos päikesepaneelidega).
- Võrgukoormuse ning sellega võrguinvesteeringute vajaduse vähendamine teatud kriitilistes piirkondades: näiteks täna Hiiumaal, kus uued liitumised ei ole võrgu ammendumise tõttu võimalikud.
- Salvestuse toetamine hoonete renoveerimisega ühtses pakendis, kus peamine eesmärk on siiski energiasääst – näiteks võib renoveerimisprojektile koos salvestuslahendusega (ja ka PV paneelidega) anda suurema määraga toetust (nt 50%).
- Toetada täiendavalt selliste elektriautode turule tulekut, mis võimaldavad elektrit ka võrku tagasi anda – ressursside parem kasutamine.

Lähtudes mitmetest kriteeriumitest – nagu tehnoloogia valmisoleku tase, Eesti turu vajadused, senised rakendamise arengud Eesti turul, maksumused jm – tuuakse analüüsis välja järgnevad tehnoloogiad, mille rakendamine on Eesti energiaturul lähiaastatel realistlik ning mille osas soovivad uuringu teostajad kavandada ka riiklikke meetmeid turu arendamiseks:

**Pumphüdrosalvestus (PHS) ehk vesisalvestus** ***Eelistuse põhjendus***

PHSid on reeglina suuremahulised salvestid, mis suudavad olulisel määral mõjutada elektriturgu ning panustada energiaga varustamise stabiilsusesse, elektrisüsteemi toimimisse, elektrihindade stabiilsusesse ja taskukohasusse, taastuenergia osakaalu tõstmisse ja – ressursside efektiivsemasse kasutamisse. PHS tehnoloogia on kõrge valmiduse astmega ning juba pikalt turul kasutusel.

*PHS on võrdluses teiste salvestustehnoloogiatega ressursitõhus (vt*

Joonis 7) ja võimaldab suhteliselt väikeste kadudeta salvestada pikaks perioodiks.

PHS investeringute oluliseks takistuseks on süsteemiteenuste turureeglite puudumine – süsteemiteenuste turg avaneb Baltikumis täies mahus hinnanguliselt 2026.a alguses. Turureglid on PHSide ärimudeli oluline osa. n Kuna projekteerimis- ja ehitusperiood kestab mitu aastat, siis on kiiremas korras vaja süsteemiteenuste turu reegleid, et investorid teaksid, kas ja millisel viisil nende PHS saab süsteemiteenuste turul osaleda.

PHSide riikliku toetamise vajadus on eeskätt seotud raskustega projektide finantseerimisel, kuna hinnavahe vastu (arbitraaž) finantseerimine on pankade seisukohalt liiga riskantne ning süsteemiteenuste turu osas valitseb teadmatus. Samuti on ohuks riigipoolsed subsideeritud ning mitte turupõhiselt opereerivate salvestite tulek (eelkõige süsteemiteenuste) turule (Leedu ja Läti näitel).

***Turumaht***

Täna on arenduses kaks PHSi – **500MW** ja **50MW**. Kui Eesti Energia võib kaevandustes väiksemaid salvesteid veelgi rajada, siis täiendava suurmahulise salvesti lisandumise tõenäosus on väiksem.

***Toetusmeede ja toetuse kulu***

Uuringu koostajad pakuvad sobivaima toetusmeetmena välja garantiid pankadele. Garantii pankadele rakenduks teatud (madala) hinnavahe korral kindlaksmääratud perioodide arvestuses – nt kvartal, poolaasta. Täpsemalt on meetme võimalikud üksikasjad lahti kirjutatud peatükis 4.3.2.

Tehtud eeldustel kujunes toetuse (garantii realiseerumisel) summaks ca **16 MEUR aastas**.

## **Liitiumioonakud (LIB)**

### ***Eelistuse põhjendus***

LIB on kõige kõrgema tehnoloogilise valmisolekuga akutehnoloogia. Liitiumioonakud on ka Eestis kasutuses nn päikeseelektri salvestamiseks. Elektrilevi kaalub neid võrgulaienduse asendusena ning üks hange on ka ette valmistamisel.

Liitiumioonakud soodustavad taastuvelektri (eelkõige päike) kasutuselevõttu, aitavad vähendada võrgukoormust ja võrguinvesteeringuid ning võivad panustada ka süsteemiteenuste osutajatena – väikesed LIBd tuleb selleks aga agregeerida.

Arengu kiirendamiseks on eelkõige vajalik:

- integreerimis- ja juhtimisplatvormide areng/tekkimine,
- kohustus tekitada (uuest, renoveeritavates) hoonetes valmisolek salvestuse integreerimiseks,
- süsteemiteenuste turu tekkimine (tekib 2026 alguses),
- teadlikkuse ja teadmiste kasvatamine salvestuse võimalustest ja
- ka investeeringutoetused (nt suure koormusega võrgupiirkondades, autonoomsed lahendused).

### ***Turumaht***

Energiateekaardis (Rohetiiger, 2021) eeldati väiketarbijate/-tootjate elektriakude kogumahuks ambitsioonika stsenaariumi korral kuni **120MW** aastal 2030 (2040.a juba 500MW). Sarnases või isegi suuremas mahus saab eeldada ka suuremate akuparkide (päikeseparkide ja võrguettevõtjate juures) tulekut. Kliimanetraalse elektrimajanduse uuringus<sup>1</sup> pakutaks akude turumahuks isegi üle **2000MW** 2030.a (üle 8500MW 2050.a).

Salvestamisse saab kaasata ka sõidukite akusid, kuid nimetatud maht on siiski seotud peamiselt väiketootjate juures asuvate akudega.

Turumaht ei pea olema kaetud ainult LIB'dega, loodetavasti muutuvad masskasutusele sobivaks ka teised akuliigid (eelkõige läbivooluaku).

### ***Toetusmeede ja toetuse kulu***

Toetamise võimalused:

1. Investeeringutoetus, mis on piiratud teatud piirkondadega: suure koormusega võrgupiirkonnad, autonoomsed lahendused;
2. Arvestades nende kõrget investeeringu maksumust on eelkõige vajalik väikeakude toetamine;

---

<sup>1</sup> „Transitioning to a climate-neutral electricity generation“, SEI Tallinn, Trinomics et'al, 2022.



3. Soodustada akude paigaldamist hoonete renoveerimisel suurendades sellistel juhtudel toetuse osakaalu;
4. Toetada väikeakude integreerimist ja integreerimislahenduste pakkujaid.

Tehtud eelduste alusel kujunes hüpoteetiliseks investeeringutoetuseks ca **50 MEUR** perioodil 2023-2030 kokku.

**Läbivooluaku (*redox*)** Läbivooluakud oleksid alternatiiviks LIBle ning võib võtta osa eelnevalt toodud LIB'de turumahust. Läbivooluakud on ka teatud parameetritelt paremad (pikem tühjenemistsükkel ja eluiga) ja aitavad hajutada ühe tehnoloogia ning teatud ressursside intensiivse kasutamisega (nt liitium) seotud riske.

Täna on hinna, eluea ja tehnoloogiliste näitajate võrdluses siiski liitiumioonakud veel eelistatud ning pangad on nõus finantseerima ainult neid akusid.

Arengu kiirendamise meetmed on sarnased LIB juures toodule.

## **Vesinik**

### ***Eelistuse põhjendus***

Vesiniku tootmine on küll pika ajalooga, kuid nn roheline vesiniku (taastuvenergiast toodetud) tootmismahud on maailmas veel suhteliselt väikesed. Põhjuseks on kõrged kulud, mis on seotud ka vesinikust elektri tootmise madala efektiivsusega (25-45%).

Vesiniku kasutuskohana nähakse peamiselt transporti, kuid selle kõrval võib teatud olukordades toota vesinikust elektrit või isegi soojust.

Eelkõige on lähiaastatel võimalik tegeleda pilootprojektide toetamisega, mida riiklikult juba täna tehakse. Turu tekkimiseks on vajalik suuremahulise tuuleelektri tootmine (loe meretuuleparkide käivitamine), rohevesiniku tehnoloogia odavnemine ning kasutusvõimaluste areng (eelkõige transport aga ka energeetika).

### ***Turumaht***

Energiateekaardis (Rohetiiger, 2021<sup>2</sup>) on ambitsioonika stsenaariumi kohaselt vesiniku kasutamise mahuks Eesti transpordis hinnatud isegi üle 5000 tonni aastas<sup>3</sup> (2040a), kuid võimalus on salvestada ka suur osa meretuuleparkide tootmismahust vesinikuks.

Teekaardis tehtud eeldustel saaks arvestuslikult vesinikku salvestada 11 600GWh meretuule elektrit, saada ca 5 500GWh vesinikku, mille tagasi

---

<sup>2</sup> <https://rohetiiger.ee/majandus-blogi/energia-teekaart/>

<sup>3</sup> Utilitase pilootprojekti tootmismahud on 30 tonni vesinikku aastas. Samas ei saa vesiniku tootmist autokütuseks päriselt nimetada elektrienergia salvestamiseks;

elektriks muutmisel (eeldades elektrolüüseri efektiivsuseks 60%) saadakse 3 300GWh elektrit (koguefektiivsus seega alla 30%).

### ***Toetusmeede ja toetuse kulu***

Täna on võimalik ja otstarbekas toetada ainult pilootprojekte, mida Eestis ka juba tehakse (ELi taaste- ja vastupidavuskava raames). Toetatakse rohevesiniku tootmise ja kasutamise terviklahendusi. Esimene toetus KIKi poolt (**5 MEUR**) anti Utilitas kontsernile rohevesiniku tootmiseks ja kasutamiseks taksonduses.

Järgmises voorus (2023a.) on toetusmeetme suuruseks juba **50 MEUR**.

## **Mahtsoojussalvesti (vesi)**

### ***Eelistuse põhjendus***

Mahtsalvestus veega on sisuliselt ainuke kasutuses olev ning lähitulevikus potentsiaalselt ka kaugküttes kasutamiseks valmis olev tehnoloogia. Aitab vähendada fossiilkütuste kasutust (tiputarbimisel).

Lisaväärtusteks on veel CHPde töötamine sujuvaval režiimil ning võimalus kasutada salvestit avariiveehoidlana (ehk lekete korral saab salvestiga edukalt võrku edasi töös hoida).

Seetõttu on soovitav kaaluda tehnoloogia toetamist ning esmajärjekorras tuleks üle vaadata hinnaregulatsioon: kas soojussalvesti on tootmiseade või võrgu osa ehk millisesse tariifi salvesti kulu arvestada. Võrguvee avarii mahutina toimides on see üks osa kaugküttevõrgust (kaugküttevõrk on ise ka tinglikult suur veemahuti).

Mõne aasta perspektiivis on plaanis rajada mahtsoojussalvesteid suurematesse Eesti linnadesse (Tallinn, Tartu, Pärnu). Investorid peavad vajalikuks ka riiklike investeeringutoetusi.

### ***Turumaht***

Energiateekaardis (Rohetiiger, 2021) eeldati Tallinna, Tartu ja Pärnu mahtsalvestite kogumahuks 60 000 m<sup>3</sup> (320 MW) ning salvestite rajamine on ette nähtud juba aastateks 2023-2024. Lisaks on võimalik salvestust tekitada ka mujal, eelkõige aga koostootmisjaamade juures (Kuressaare on töötav näide – vana masuudimahuti võeti kasutusele salvestina).

### ***Toetusmeede ja toetuse kulu***

30% suuruse toetuse määra juures muutuks uuringu koostajate hinnangul mahtsoojussalvesti atraktiivsemaks alternatiiviks maagaasi põhise tipukatlamaja renoveerimise ja kasutamisega võrreldes. Sarnane toetuse määr on ette nähtud ka ELi taaste- ja vastupidavuskavast finantseeritavas salvestuse pilootprogrammis.

Kasutatud eeldustel kujunes investeeringutoetuse kogusummaks ca **10 MEUR**.

Elektri salvestus on seotud taastuenergia mahtudega, kuid kindlaid seoseid, milliste mahtude juures kui palju salvestust lisanduma peab ei ole võimalik välja tuua. See on äriiline otsus ja on seotud seetõttu suure määramatusega (st mõjutatud väga paljudest asjaoludest, mitte ainult taastuvelektri mahtudest) – kliendipoolsete (st turule suunatud) salvestite ärimudeli olulisem osa on arbitraaž, mida ei mõjuta ainult Eestis tehtud otsused vaid peamiselt ikkagi kogu Nordpooli piirkonnas ja isegi laiemalt.

Välja saab tuua, milliseid salvestuse mahtusid planeeritakse viimati koostatud analüüsid:

- Kliimaneutraalse elektrimajanduse uuringus (2022)<sup>4</sup> on sisuliselt ainsaks elektri salvestuse viisiks akusalvestus. PHJ on ette nähtud ainult ühes stsenaariumis kaheksast ja sedagi väiksemas mahus, kui on kavandatavate projektide suurus. Akusalvestuse mahud saab selles uuringus siduda nii päikese kui ka tuuleenergia toodanguga. Üle kõikide stsenaariumite (8) ja kõikide aastate (2030, 2040, 2050) oli akude võimsus (MW) suhte installeeritud päikese- ja tuuleelektri võimsusesse (MW) 61% (mediaanäitaja), kusjuures aastal 2050 ulatub see suhe juba üle 100% (maksimaalne ca 200%).
- Energiateekaardis (2021)<sup>5</sup> on akusalvestus seotud päikeseelektri toodanguga, kuid planeeritud on ainult mikrotootjate akusid ning suhe akude ning päikesepaneelide võimsuste vahel on 41%. Kui arvestada, et suurtel päikesepeakidel on äriiliselt sarnane vajadus akude järele nagu väiketootjatel siis võiks sarnases või isegi suuremas mahus tekkida suuremaid akupankasid ning suhe akude ja päikesepaneelide võimsuste vahel ulatuda 100%'ni. Vesiniku tootmine on Energiateekaardis seotud otseselt meretuuleparkide toodanguga – vesiniku tagasi elektriks muundamine on täna siiski veel väga kallis ja ebaefektiivne nii et roheelektri kasutamine vesiniku tootmiseks sõltub eeskätt vesiniku kasutusvõimalustest muudes valdkondades (nt transport).

#### *Regulatiivsed ettepanekud salvestusturu arendamiseks*

Oluliseks arengute kiirendamisel on takistuste kõrvaldamine salvestuse turult. Põhinedes koostöös turuosalistega tuvastatule, tuuakse analüüsis välja järgmised tegevused Eesti salvestusturu arendamiseks (vt ptk **Tõrge! Ei leia viiteallikat.**):

- Täiendada (REKK, ENMAK2035) **strateegilist vaadet**: energiasüsteemide eesmärkide täiendamine, salvestusega lahendatavete probleemide kirjeldus, eelistatud tehnoloogiad, turumahu hinnangud jms;
- **Tuua turule uusi energiaturu teenuseid** (eelkõige süsteemiteenused elektri valdkonnas), mis soodustaksid ja tagant lükkaksid ka salvestuse teenust. Uute teenuste turule tulek on eelkõige seotud elektrisüsteemi desünkroniseerimisega;
- Töötada välja eelnevalt välja pakutud **teenuste turu toimimise reeglid** (tootedisain), et oleks võimalik otsustada, kas ja mis tingimustel salvestus ja teised huvilised saavad turul osaleda.
- Tegevused konkurentsipiirangute kõrvaldamiseks ja vaba konkurentsi tagamiseks. Piirangute osas toodi konkreetselt välja Läti ja Leedu süsteemihaldurite salvestusinvesteeringuid. Eesti elektrituruseaduses (ELTS) on juba sätestatud konkurentsipiirangud võrguoperaatoritele.
- Võrguettevõtjad vaatavad üle salvestite **võrku ühendamise kriteeriumid** ja tingimused, oluline on anda osapooltele (eelkõige võrguoperaatoritele) kindlad tähtajad taotluste läbivaatamisele.

---

<sup>4</sup> „Transitioning to a climate-neutral electricity generation”, SEI Tallinn, Trinomics et'al, 2022.

<sup>5</sup> <https://rohetiiger.ee/majandus-blogi/energia-teekaart/>

Üldiselt ei tekkinud selles valdkonnas siiski rohkem konkreetseid ettepanekuid olukorra parandamiseks.

- Vaadata üle **tasude (võrgu, taastuenergia) ja elektriaktsiisi arvestamise kord** ning viia ELTSi ning alkoholi- tubaka- ja kütuseaktsiisi seadusesse vajadusel sisse vastavad täiendused.
- Töötada välja **toetusmeetmed** pilootprojektidele ning teatud salvestustüüpide jaoks ka laiemalt turule tuleku toetamiseks koos vastavate toetusmäärsutega. Leida finantseerimise allikad riigieelarvest.

## 3. SALVESTUSTEHNOLOGIATE ANALÜÜS

### 3.1. Salvestamisest üldiselt

#### Miks energiat salvestada

Euroopas ja maailmas nähakse energia salvestamist ühe instrumendina suurendamiseks taastuvatest energiaallikatest genereeritud elektri ja soojuse osakaalu energiatarbimises ning panustada sellega majanduse dekarboniseerimisse ja kliimapoliitika eesmärkide saavutamisse. Lisaks panustab salvestamine mitme teise poliitilise eesmärgi saavutamisse: energiajulgeolek (sh energiasõltumatus suurendamine, allikate mitmekesisus, süsteemide toimimiskindlus), energiaturgude efektiivsus ja energiakasutuse efektiivsus. Salvestamise abil on võimalik vähendada tipp-koormuse katmiseks vajalikke tootmisvõimsusi, muuta tarbijale energia hinda odavamaks, pakkuda sageduse hoidmise teenust ja bilansienergia teenust elektrivõrgus. Kaugküttevõrgus aitab salvestus varieerida soojusallikaid sõltuvalt hetkehindadest (kütus, elekter, heitsoojus).

Kodune akudega elektri salvestamine on nt Kesk-Euroopas suhteliselt levinud lahendus koos päikesepaneelidega. Sama tendentsi võib seoses energiahindade tõusuga täheldada ka Eestis. Elektriautode võimaliku levikuga tulevikus, on võimalik ka **elektriautode** akusid kasutada elektri salvestina, mis on ühendatud elektrivõrguga.

Mida suurem on juhitamatu elektritootmise osakaal elektrisüsteemis, seda rohkem vajab süsteem **paindlikkusteenuseid**. Paindlikkus elektrisüsteemis tähendab võimet juhtida elektritarbimist ja -tootmist selliselt, et elektrivõrgu karakteristikud (nt pinge ja sagedus) vastaksid igal ajahetkel nõutud standardile. Paindlikkusteenused jaotatakse kolmeks:

- elektritarbijate tarbimise ajatamine;
- salvestamine;
- paindlike elektritootmisvõimsuste osalemine elektriturul.

Kuna tarbimise ajatamisel on piirid ning paindlike elektritootmisvõimsuste osakaal elektriturul väheneb, sest väheneb nende konkurentsivõime päiksest ja tuulest toodetud elektriga võrreldes, siis vajadus elektrienergia salvestamise järele kasvab märkimisväärselt kogu maailmas.

Energiasalvestid on võtmetehnoloogiateks ka **tarkvõrkude** ja üha laieneva taastuvate energiaallikate kasutuse kontekstis. Tarkvõrkude all mõistame uudseid elektrivõrkude lahendusi, kus on omavahel integreeritud nii elektri kui ka soojuse tootmine, ülekanne, salvestamine ja tarbimine eesmärgiga tagada jätkusuutlik, ökonoomne ning turvaline energia tarnimine.

#### Salvestuse parameetrid

Soojuse ja elektri salvestamise peamised parameetrid erinevate kasutusviiside juures on toodud järgnevas tabelis (Tabel 1)

*Tabel 1 Salvestuse iseloomulikud näitajad erinevate kasutusvõimaluste juures*

Kasutus	Väljund (elekter, soojus)	Suurus (MW)	Tühjenemise kestus	Tsüklid (tavapärane)	Reaktsiooni- aeg
---------	---------------------------------	----------------	-----------------------	-------------------------	---------------------

Hooajaline salvestamine	e, s	500 kuni 2000	Päevadest kuudeni	1 kuni 5 aastat	päev
Arbitraaž	e	100 kuni 2000	8 kuni 20 tundi	0,25 kuni 1 päevas	> 1 tund
Sageduse reguleerimine	e	1 kuni 2000	1 kuni 15 minutit	20 kuni 40 päevas	1 min
Koormust järgiv <sup>6</sup>	e, s	1 kuni 2000	15 minutit kuni 1 päev	1 kuni 29 päevas	<15 min
Pinge tugi	e	1 kuni 40	1 sekund kuni 1 minut	10 kuni 100 päevas	Millisekundist sekundini
Nullist käivitamise funktsioon	e	0,1 kuni 400	1 kuni 4 tundi	< 1 aastat	< 1 tund
Ülekande ja jaotuse (T&D) ummikute leevendamine	e, s	10 kuni 500	2 kuni 4 tundi	0,14 kuni 1,25 päevas	> 1 tund
T&D infrastruktuuri investeeringute edasilükkamine	e, s	1 kuni 500	2 kuni 5 tundi	0,75 kuni 1,25 päevas	> 1 tund
Nõudluse nihutamine ja tippude vähendamine	e, s	0,001 kuni 1	Minutitest tundideni	1 kuni 29 päevas	<15 min
Mikrovõrgud	e, s	0,001 kuni 0,01	3 kuni 5 tundi	0,75-1,5 päevas	<1 tund
Muutuvate varude integreerimine	e, s	1 kuni 400	1 minut kuni tundi	0,5-2 korda päevas	<15 min
Jääksoojuse kasutamine	s	1 kuni 10	1 tund kuni 1 päev	1 kuni 20 päevas	<10 min
Soojuse ja elektri koostootmine	s	1 kuni 5	Minutitest tundideni	1 kuni 10 päevas	<15 min
Pöörlev reserv	e	10 kuni 2000	15 minutit kuni 2 tundi	0,5-2 korda päevas	< 15 min
Mittepöörlev reserv	e	10 kuni 2000	15 minutit kuni 2 tundi	0,5-2 korda päevas	<15 min

Allikas: Turgut M. Gür. *Review of electrical energy storage technologies, materials and systems: challenges and prospects for large-scale grid storage. Energy Environ. Sci., 2018, 11, 2696—2767.*

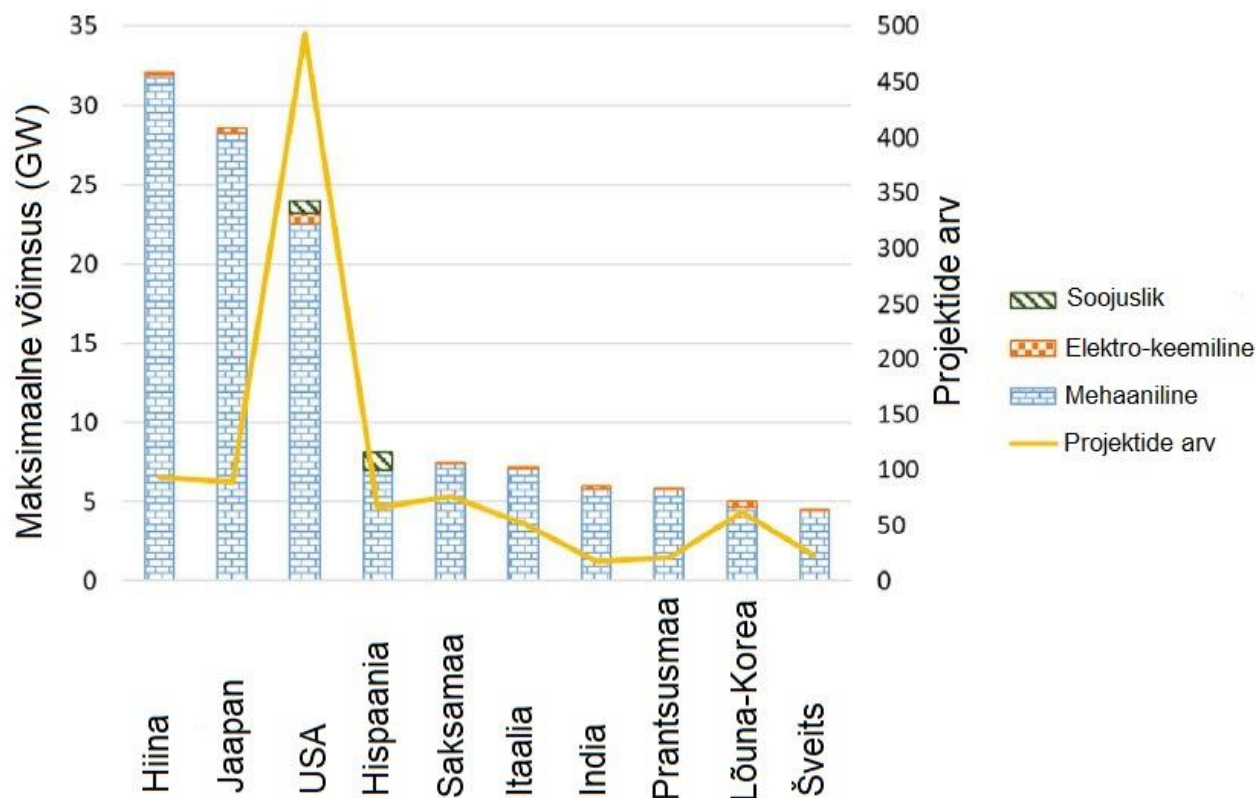
## Salvestustehnoloogiate areng

Maailmas toimub väga aktiivne energia salvestuslahenduste arendus. Oma hinna, tehnoloogilise kindluse ja pikaajalisuse tõttu on rohkem kui 90% maailma olemasolevast elektrisalvestuse mahust pump-hüdroalvestus<sup>7</sup> (PHS; vt ka Joonis 2): PHS-I on suur mehaaniline võimsus ja seega ka elektritoodang, pikk tühjenemisaeg, samuti ei muutu kasutegur salvestamise perioodi pikendamisel. Teiste tehnoloogiate hinna alanemine ning pump-hüdroalvestuse looduslikud piirangud toovad kaasa ka muude salvestusvõimaluste osakaalu kasvu.

<sup>6</sup> Koormust järgiv - võrgu mingis osas oleva tipukoormuse katmiseks ei soovita võrgu tugevdamisse investeerida, vaid odavam on mõned tunnid anda elektrit lokaalselt aku pealt juurde. Teenust ostetakse sisse ning teenuse osutaja saab samas muul ajal akuga muid teenuseid pakkuda. Elektrilevi plaanib sellist lahendust.

<sup>7</sup> Mõnede allikate järgi 2015.a 96%. Kokku 150 GW

Joonis 2 Maailma tipp 10 riiki paigaldatud salvestusvõimsuste osas<sup>8</sup>



Elektri salvestamist on sõltuvalt salvestamise viisist kasutatud mitmesuguste teenuste osutamiseks ja eesmärkide saavutamiseks. Numbrilise ülevaate teostatud projektide arvust ja seostest erinevate teenuste/eesmärkidega annab Tabel 2.

Tabel 2 Salvestamisviisid ja selle eesmärk – teostatud projektide arv<sup>9</sup>

Teenus	Mehaaniline salvestamine	Elektro-keemiline salvestamine	Keemiline salvestamine	Termiline salvestamine
Elektrienergia tarbimise ajaline nihe	314	197		75
Elektrivarustuse võimsus	282	79	66	
Taastuenergia võimsuse tugevdamine	12	204	6	54

<sup>8</sup> M. M.Rahman, A. O. Oni, E. Gemechu, A. Kumar. Assessment of energy storage technologies: A review. Energy Conversion and Management 223 (2020) 113295

<sup>9</sup> Md.M. Rahman, A.O. Oni, E. Gemechu, A. Kumar. Assessment of energy storage technologies: A review. Energy Conversion and Management 223 (2020) 113295

Sageduse reguleerimine	77	168	1	4
Elektriavete haldamine	3	119		119
Taastuenergia ajaline nihe	15	139	3	57
Pinge tugi	46	133		
Kohapealne taastuenergia tootmise ümberlülitus	1	135	1	9
Elektrivarustuse reservvõimsuse pöördlemine	92	52		
Kohapealne toide	4	90		
Võrguga ühendatud kaubanduslik teenus (usaldusväärsus ja kvaliteet)	2	64	3	
Elektriavete haldamine taastuvate energiaallikatega	3	77	1	2
Transporditeenused	51		2	
Jaotuse uuendamine päikeseenergia jaamade paigaldamise tõttu		46		
Võrku ühendatud elamu (usaldusväärsus)		35		3
Rampimine	4	40	1	1
Koormuse järgimine (tertsiaarne tasakaalustamine)	26	50	1	
Mikrovõrgu võimekuse tõstmine	2	92		1
Nullist käivitamise funktsioon	1	36		
Ülekande koormatuse leevendamine	1	24	1	3
Edastamise tugi		17		3
Elektrivarustuse reservvõimsus - mittepöörlev	1	20		17

Kuna erinevad salvestusteenused vajavad eri tüüpi salvesteid, salvestusvajadus üha kasvab ning salvestustehnoloogiate alal käib väga intensiivse arendustegevus, siis langeb nende salvestamisvõimaluste maksumus juba lähitulevikus oluliselt ja sellest tulenevalt võib eeldada pump-hüdrosalvestuse osakaalu langust. Samas pole „võitjatehnoloogiate“ ennustamine võimalik.

### Elektrienergia salvestamise viisid

Elektrienergia salvestamise üldistest viisidest annab ülevaate Joonis 3, põhjalikumalt on elektri salvestamistehnoloogiatest kirjutatud peatükis 3.2.1.

#### *Joonis 3. Ülevaade elektrienergia salvestusviisidest ja tehnoloogiatest*

##### **ELEKTRILINE**

- Super-kondensaatorid
- Ülijuhtivad magnetenergia salvestid

##### **ELEKTROKEEMILINE**

- Pliiaku
- Naatrium-väävel aku
- Liitiumioon aku
- Niikke1-kaadmium aku
- Naatrium-nikkelkloriid aku

##### **MEHAANILINE**

- Pump-hüdrosalvestus
- Suruõhusalvestus
- Adiabaatiline suruõhu-salvestus
- Hoorattasalvestus



- Vanaadium-redox aku
- Tsin-broom aku
- Polüsulfiid-bromiin aku

#### SOOJUSLIK

- Vesiniku salvestussüsteemid
- Pump-soojussalvestus
- Külmasalvestus
- Sulasoolades salvestamine

#### KEEMIILINE

- H<sub>2</sub> (vesinik) kütuseelement

#### TERMOKEEMIILINE

- Solaarkütus

Allikas: Ntavarinos, N., Davies, P., Erkan Oterkus, E. Assessment of energy storage technologies for case studies with increased renewable energy penetration. /<https://www.peertechzpublications.com/articles/ALO-4-107.php/>

### Soojuse salvestamise viisid

Termodünaamika määratleb soojuse kui energia ülekandevormiga seotud suuruse, st soojus ei ole energia, vaid energia ülekandmise viis. Salvestada saab vaid soojuse kujul ülekantavat energiat.

Soojuse salvestamist võib klassifitseerida:<sup>10</sup>

- a) salvestamise kontseptsiooni järgi (aktiivne, passiivne) või
- b) salvestamismehhanismi järgi (faasimuutusega, faasimuutusega, keemiline jne).

Aktiivse salvestusviisi korral kasutatakse energia ülekandmiseks soojuse kujul salvestatavale ainele sundkonvektsiooni, st energiat salvestav aine on ise sundringluses.

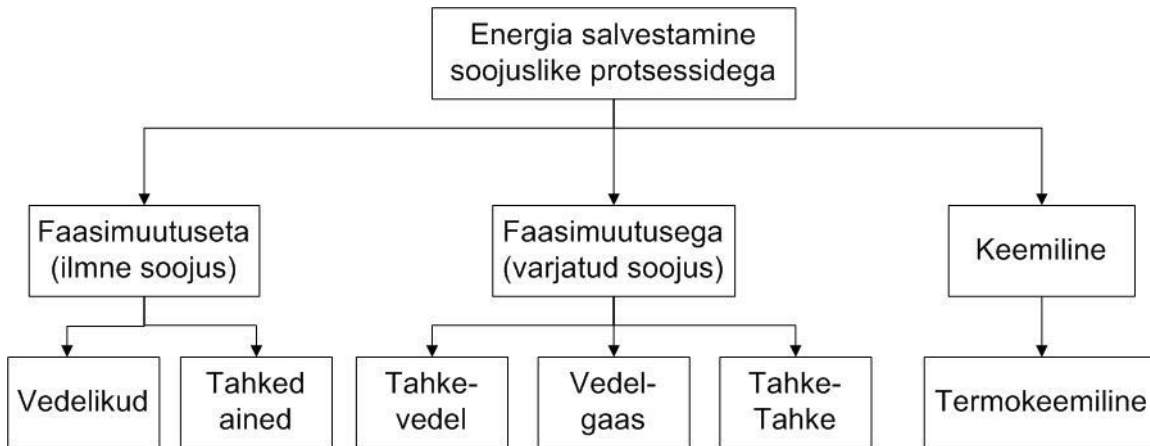
Passiivsete süsteemide korral kasutatakse energia ülekandmiseks soojuse kujul energiat salvestavale ainele nn vahesoojuskandjat. Energiat salvestav aine ise on nõ paigal ja energiat salvestavaks aineks võib olla nt tahke aine, vedelik, faasimuutusega materjal.

Salvestusmehhanismide järgi soojuse salvestamise viisid on kujutatud järgenval joonisel (Joonis 4)

---

<sup>10</sup> Survey of thermal storage for parabolic trough power plants. (2000). Pilkington Solar International GmbH. 2000.

Joonis 4 Energia salvestamise viisid soojustike protsesside abil (erinevad salvestamismehhanismid)



Mehhanismide detailssem kirjeldus on toodud analüüsi lisa 5.3.

### Salvestuse ärimudel - elekter

Tavapäraselt on elektrisalvestuse ärimudelite nurgakiviks osalemine energiakaubanduses (ingl *arbitrage*) ehk praktika, kus teenitakse tulu elektri hinna erinevusest börsil. Salvestatakse elektrit, kui börsil on hind odav ja müüakse, kui börsil on elektri hind kõrge – see majandusliku aspekti võimaldab hinnatippude silumist elektriturul ning võib ka elektri hindu langetada.

Elektri salvestamisel on tegelikkuses aga väga palju erinevaid kasutusvõimalusi, milledest annab ülevaate Tabel 3. Turule suunatud salvestusvõimsuste ärimudel tuginebki üldjuhul mitmele teenusele, mitte ainult arbitraažile.

Tabel 3 Salvestite kasutamise võimalused elektriturul<sup>11</sup>

Tootmis- ja hulgimüügi teenused	Tugiteenused	Ülekande infrastruktuuri teenused	Jaotusinfrastruktuuri teenused	Kliendi energiahaldusteenus
Arbitraaž	Esmase sageduse juhtimine	Võrguinvesteeringute edasilükkamine	Võimsuste silumine	Lõppkasutaja tarbimistippude katmine
Elektrivarustuse võimsus	Sekundaarne sageduse juhtimine	Nurgastabiilsus	Ettenägematute häirete võrgutugi	Kasutusaja energiakasutuse ajaline hinnapõhine juhtimine
Tavapärase tootmise (genereerimisele) toetavad teenused	Tertsiaarne sageduse juhtimine	Edastamise tugi ebastabiilsuste silumiseks	Võrguinvesteeringute edasilükkamine	Elektrikvaliteedi tagamine
Lisateenused taastuenergia salvestamiseks	Süsteemi sageduse stabiilsus		Jaotusvõrgu elektri kvaliteet (pinge hoidmine)	Omatootmise ja -tarbimise maksimeerimine

<sup>11</sup> Joint EASE/EERA recommendations for a European Energy Storage Technology Development Roadmap, 2017 update

Võimsuse ühtlustamine	Nullkäivituse toetamine
Tootmise kärpimise minimeerimine	Pinge hoidmine
Häirete vähendamine	Uued lisateenused
Tootmis- ja hulgiteenused	Abiteenused <sup>12</sup>

Dünaamiline, lokaalne pinge juhtimine	Tiputarbimise tasude juhtimine (vähendamine)
Sihipärane saarestumine	Energiavarustuse järjepidevus
Jaotusvõrgust tulenevate häirete silumine ülekandevõrgu suunal	Võrgusuunaliste häirete piiramine
Reaktiivenergia kompensatsioon	Reaktiivenergia kompensatsioon
Jaotusinfrastruktuuri teenused	Elektriautode integratsioon

### Salvestuse ärimudel – soojus

Soojuse salvestamise äriline mõte seisneb peamiselt võimaluses vähendada investeeringuid tipuvõimsuste tekitamisse baaskoormuse tootmisressursi parema ärakasutamise kaudu. Soojust võib salvestada ka arbitraazi eesmärgil – võimalus tekib siis, kui tipukoormuse kütused kallinevad märkimisväärselt võrreldes baaskoormuse kütustega. Sellisel juhul peab aga paralleelselt olemas olema nii salvestuse seade kui ka tipukoormuse tootmiseseade.

Ruumide kütmiseks ja tarbevee jaoks kasutakse järgmisi lahendusi:

- Lokaalsed veemahutid tasandamaks päevaseid tarbimiskoormuste kõikumisi ja suurendada päikeseenergia osakaalu hoone soojusvarustuses;
- Lokaalsed hooajalised salvestid kõrge salvestustihedusega salvestamaks päikeseenergiat, mida kasutada talvisel kütteperioodil;
- Kaugküttesüsteemides kasutatakse suuri veemahuteid, kus saab vee temperatuuri tõsta kuni 120 °C, millega:
  - saab paremini järgida tarbimisvajadust ja teenida tulu (kasutades allikana elektrit ja soojust);
  - saab katta jaama lühiajalise seisaku ajal energiavajadust;
  - saab võimaldada „elekter-soojuseks“ võimalust, kui elektri hind on selleks piisavalt odav.
- Kaugküttesüsteemides, kus on päikese-soojust, maasoojust või päikeseelektrit, saab rakendada hooajalist salvestamist.

Protsessisoojuse (tööstus) korral:

---

<sup>12</sup> Abiteenused viitavad paljudele funktsioonidele, mida võrgu operaator kasutab süsteemi tasakaalustamise, stabiilsuse ja turvalisuse tagamiseks

- Kasutatakse kõrgetemperatuurilisi soojussalvesteid elektrijaamades või tööstuslikes protsessides koormuste ühtlustamiseks;
- Ajatatakse taastuvenergiaallikate poolt genereeritud energia tarbimist suurendamiseks taastuvenergia osakaalu;
- Võimaldatakse koostootmisjaamadel töötada paindlikumalt ja suurendada tulu.

### **Energiasalvestuse suundumused**

Euroopa Komisjon on hinnanud, et 2030. aastaks on EL27-s vaja 94 GW ulatuses elektri salvestusvõimsusi<sup>13</sup>, millest enamik tuleb ehitada. Samas tuleb nii sellesse kui ka mis tahes teise elektri salvestusvajaduse prognoosi suhtuda ettevaatlikult, kuna salvestusvajaduse tegelik ulatus sõltub väga erinevatest elektrisüsteemi teguritest, sh fossiilsete tootmisvõimsuste sulgemise tegelik kiirus, salvestushinna alanemine ning selle võrdlus näiteks uute ülekandeliinide hinnaga.<sup>14</sup>

Euroopa tasandil soovitakse ellu viia mitmeid pilootprojekte demonstreerimaks, kuidas on salvestamisega võimalik energiaturgudel osutada mitmeid teenuseid ja tekitada sellega energiasüsteemides lisandväärtust, nt varustuskindlus. Sellega tegeleb Eestis ka TalTech, kes on rajamas pilootsüsteeme integreeritud lahenduste katsetamiseks Paldiski lähedale ja Tartusse.

Salvestite tehnoloogia arenguks on vaja panustada teadus ja arendustegevusse, arendada süsteemiosasid ja materjale. Alates 2013. aastast on toimunud Euroopas energia salvestamisel märkimisväärvad arengud nagu maailma suurim veeldatud õhuga energiasalvestamine (*Liquid Air Energy Storage – LAES*) Ühendkuningriikides, hübriid-hoorattaga salvestamine Iirimaa. Akude hind on muutunud odavamaks aga selle trendi jätkumist oodatakse nagu ka liitiumakude kõrval teiste akutehnoloogiate kiiremat arengut. Samuti muudetakse regulatsioone soodustamiseks salvestite turu arengut.

Väga oluliseks teemaks on tõusnud ressursside küsimus – eriti väärismetallide piisavus ja hind, kui arvestada vajaduse kiiret kasvu akude järele, mida veab eelkõige autotööstus.

### **Salvestus Eestis**

Eestis kehtivad elektrivõrguga liitumisel salvestusseadmetele sarnased nõuded nagu tootmismoodulitele ja/või HVDC konvertersüsteemidele. Salvestusseadmete liitumisel on vajalik piisav võrgu läbilaskevõime nagu tavapärase tootmise- ja tarbimissuunalise uue liituga liitumisel.

Juhul kui salvestusseadmed on projekteeritud töötama liinide koormuse vähendamise suunas, saab salvestusseadmeid liita ka kohtades, kus täna võrguläbilaskevõime puudub – näiteks kombinatsioonina koos tootmisega.

Eestis täna ei ole veel suuremahulisi elektri ja soojuse salvestusseadmeid, küll aga on planeerimisel 2 suuremahulist pumphüdrolelektrijaama ning mõned mahtsoojussalvestid suuremates Eesti linnades. Varases arengujärgus on ka akusalvestuse kasutamine mikrotootjate, suuremate päikeseparkide arendajate ning võrguoperaatorite poolt.

---

<sup>13</sup> Study on energy storage – Contribution to the security of the electricity supply in Europe, Directorate-General for Energy Internal Energy Market, Final Report 2020

<sup>14</sup> Energia teekaart 2021-2031-2040. Rohetiiger, TalTech, 2021.

## 3.2. Tehnoloogiate ülevaade

### 3.2.1. Elektrienergia salvestamise tehnoloogiad

Elektrisalvesteid kasutatakse lisaks arbitraažile mitme elektrivõrguga seotud nõude tagamiseks ja probleemide lahendamiseks:

- koormuste haldus (ingl k *load management*),
- pöörlev reserv (*spinning reserve*),
- süsteemi stabiliseerimine ja pinge reguleerimine (*system stability and voltage regulation*),
- ülekandevõrkude ja elektrijaamade uuendamise/laiendamise edasilükkamine (*deferral of system and plant upgrading*),
- taastuvenergiaallikate integreerimiseks (*renewable energy integration*),
- lõpptarbija rakendustes (*end-use applications*), sh avariitoiteks (*emergency back-up*),
- tarbimise juhtimiseks (*demand side management*) ja
- tipukoormuse vähendamiseks (*peak shaving*).

Mitmetes energiasalvestussüsteemides (**ESS**) ei saa elektrit otse salvestada ja seetõttu muundatakse see esmalt erinevateks vormideks ja seejärel vajaduse korral tagasi elektriks.

Arvukad elektrisalvestustehnoloogiad võib liigitada järgmistesse rühmadesse (vt Tabel 4).

*Tabel 4 Elektri salvestusviisid ja tehnoloogiad*

Eesti keeles	Inglise keeles	Lühend
<b>Elektriline</b>		
Superkondensaatorid	Supercapacitors	SC
Ülajuhtivad magnetenergiaalvestid	Superconducting Magnetic Energy Storage	SMES
<b>Elektrokeemiline: teisene patarei</b>		
Pliiaku	Lead Acid battery	LAB
Naatrium-väävel aku	Sodium–Sulfur battery	NaS
Liitiumioon aku	Lithium-ion	LIB
Nikkel-kaadmium aku	Nickel–Cadmium battery	Ni-Cd
Naatrium nikkelkloriid aku	Sodium–Nickel chloride battery	Zebra
<b>Elektrokeemiline: läbivoolu aku</b>		
Vanaadium-redox aku	Vanadium Redox Battery	VRB
Tsink-broom aku	Zinc–Bromine	ZnBr
Polüsulfiid-bromiin aku	Polysulfide bromine battery	PSB

<b>Mehaaniline</b>		
Pump-hüdroenergiasalvestus	Pumped Hydro Storage	PHS
Suruõhusalvestus	Compressed Air Energy Storage	CAES
Adiabaatiline suruõhusalvestus	Adiabatic CAES	ACAES
Hooratassalvestus	Flywheel	FES
<b>Soojuslik</b>		
Vesiniku salvestussüsteemid	Hydrogen Energy Storage Systems	HESS
Pump-soojussalvestus	Pumped Heat Storage Systems	PHSS
Külmasalvestus	Cryogenic Thermal Energy Storage	CTES
Sulasoolades salvestamine	Molten Salt	
<b>Termokeemiline</b>		
Solaarkütus (päikeseenergia abil toodetud kütus)	Solar fuel	
<b>Keemiline</b>		
Vesinik H <sub>2</sub> , Kütuseelement	<i>Fuel cell</i>	

Salvestuskestvuse järgi võib salvesteid jagada kolmeks. Järgnevalt on iga liigi selgituse lõpus näidatud ka Eestisse enim sobivad salvestid:

**A. Lühiajalised energiasalvestid.** Sellesse gruppi kuuluvad tehnoloogiad, millel on suur võimsustihedus (MW/m<sup>3</sup>) ning mis on võimelised reageerima lühikeste ajaperioodide jooksul. Lühiajalisi salvesteid kasutatakse üldjuhul elektri kvaliteedi parendamiseks elektrivõrgus: tagamaks pingestabiilsust siirdeprotsesside (lühiste või lülitamiste) ajal, mis kestavad sekundeid või äärmisel juhul kuni minut.

Eestisse sobivad tehnoloogiad: FES ja LIB.

**B. Pikaajalised energiasalvestid.** Neid tehnoloogiaid kasutatakse üldiselt elektrivõrgus süsteemiteenusteks ning on võimelised salvestama ja võrku andma energiat minutitest kuni tundideni. Üldiselt kasutatakse neid juhtimistarneteks, sageduse reguleerimiseks ja avariireservideks.

Eestisse sobivad tehnoloogiad: PHEJ, CAES ja LIB.

**C. Ülipikaajalised energiasalvestid.** Nagu nimigi ütleb, kasutatakse neid seadmeid üldjuhul koormus- ja tootmisgraafikute järgmiseks 24 tunni või pikemate ajaintervallide (kuni mitu kuud) jooksul.

Eestisse sobivad tehnoloogiad: PHEJ ja CAES.

Järgnevas tabelis (Tabel 5) on toodud veelgi pikem nimekiri salvestustehnoloogiatest koos peamiste parameetritega. Mõningatel tehnoloogiatel, mille TRL on väga madal (2-3), ei ole parameetreid võimalik veel usaldusväärselt välja tuua. Tabelis toodud lühend FTM (*in Front of the Meter*) tähendab salvestamist mõõtmiskoha (mõõtepunkti) ees ehk toodang müüakse võrku. Lühend BTM (*Behind the Meter*) tähendab salvestamist mõõtmiskoha järel ehk toodang läheb esmalt omatarbeks ja siis võrku.

Tabel 5 Elektri salvestustehnoloogiate parameetrid

Salvestusviis	Energiasalvestuse tehnoloogia	Kasutuskoht	Salvestatav energia hulk <sup>15</sup>	Paigaldatav elektriline võimsus	Energia saamise aeg täisvõimsusel	CAPEX, €/kW
Mehaaniline	Pumphüdrosalvesti (PHS)	FTM	1-100 GWh	100 MW-1 GW	Mitmeid tunde	500-1500
	Pump soojus elektrisalvesti (PHES)	FTM	500 kWh-1 GWh	100 kW-200 MW	3-6 tundi	350
	Adiabaatiline suruõhu salvesti (ACAES)	FTM	10 MWh-10 GWh	10-300 MW	Mitmeid tunde	1200-2000
	Suruõhu energiasalvesti (CAES)	FTM	10 MWh-10 GWh	10-300 MW	Mitmeid tunde	400-1200
	Veeldatud õhu salvesti (LAES)	FTM	10 MWh-8 GWh	5-650 MW	2-24 tundi	500-3500
	Hooratas salvesti (FES)	FTM	5-10 kWh	1-20 MW	5-30 minutit	500-2000
Elektrokeemiline	Naatrium-väävel akud	FTM	<100 MWh	<10 MW	6 tundi	2000-3000
	Pliiakud	FTM/BTM	Kuni 10 MWh	Mõni MW	Mitmeid tunde	100-500
	Naatrium-nikkelkloriid akud	FTM	4 kWh-10 MWh	Mitmed MW	2 kuni mitmeid tunde	150-1000
	Liitiumioon akud	FTM/BTM	<10 MWh	<50 MW	10 min kuni 4 tundi	150-1300
	Liitium-väävel akud (TRL 2-3)	FTM/BTM				
	Liitium-metall-polümeer akud	FTM/BTM				
	Metall-õhk akud (TRL 2-3)	FTM				
	Nikkel-kaadmium akud		Mõni MWh	Mõni MW	Mitu tundi	500-1500
	Nikkel- metallhüdriid akud		Mõni MWh	Mõni MW	Mitu tundi	500-1500
	Naatriumioon akud (TRL 2-3)	FTM/BTM				
	Redoksvoolu akud ((tsink, raud)	FTM	<100 MWh	<10 MW	2-12 tundi	
	Recox voolu akud (vanaadium)	FTM	<100 MWh	<10 MW	2-12 tundi	500-2300
	Redoksvoolu akud (tsink, broom)	FTM	<100 MWh	<10 MW	2-12 tundi	500-2300
Elektriline	Ülijuhtiv magnetenergia salvesti (SMES)	FTM	1-10 kWh	100 kW-5 MW	1-100 sekundit	700-2000
	Superkondensaatorid (SC)	FTM	1-5 kWh	100 kW-5 MW	<30 sekundi	1500-2500
Keemiline	Elekter gaasiks (vesinik - H <sub>2</sub> )	FTM	Kuni 100 GWh	1 kW-1 GW	Mitmeid tunde kuni mitmeid kuid	2000-5000
	Elekter ammoniaagiks, bensiiniks	FTM	1 MWh –mitmeid GWh	1 MW-1 GW		
	Elekter metaaniks	FTM	1 MWh –mitmeid GWh	1 MW-1 GW		
	Elekter metanooliks + bensiiniks	FTM	1 MWh –mitmeid GWh	1 MW-1 GW		
Soojuslik (termiline)	Vedelsoola salvesti	FTM	3 GWh	300 MW	6-10 tundi	100-300
	Tajutava soojuse salvesti (STES)	FTM	10-50 kWh/t	0,001-10 MW	1-12 tundi	3000-4000
	Faasimuutustega materjali salvestus (PCM)	FTM	50-100 kWh/t	0,001-10 MW	Mõni nädal	5500-15000
	Termokeemiline salvestus (TCS)	FTM	12-250 kWh/t	0,01-10 MW	Mõni päev	

Allikas: Study on energy storage – Contribution to the security of the electricity supply in Europe. Lõppraport, märts 2020. EUROPEAN COMMISSION. Directorate-General for Energy. Directorate B — Internal Energy Market. Unit B4 — Security of Supply.

<sup>15</sup> Näitab ka laadimistsükli jooksul võrku antavat võimalikku energiakogust.

Kõrgema TRLiga ja potentsiaalselt Eestisse sobivate tehnoloogiate, sh ka planeeritavate (PHS) või juba kasutuses olevate (LIB), põhjalikum ülevaade on toodud järgnevas tabelites.

*Tabel 6 Mehaaniline energiasalvestus. Pumphüdroalvesti*

Lühikirjeldus <sup>16</sup>	Tööpõhimõte on lihtne: energiat salvestatakse potentsiaalse energiana, pumbates selleks vett maapinnast (või maasügavusest) kõrgemal asuvasse reservuaari. Energia taaskasutamiseks tuleb ülemisse reservuaari (või looduslikku veekogusse) pumbatud vesi lasta läbi hüdroturbiinide alumisse veehoidlasse tagasi.  Võimsus 100 MW kuni 3 GW ja tööaeg nominaalkoormusel mitmeid tunde. Mahutavus kuni 100 GWh. Eluiga 30-60 aastat.
TVT (TRL)	8-9 (skaalas 1-9)
Kommentaariid TRL juurde	Süsteem/mudel toodetud ja kvalifitseeritud. Enamikul juhtudel tähistab see TRL arenduse lõppu. Süsteem/mudel on end tõestanud ja valmis täielikuks kommertskasutuseks. Näide sisaldab tegelikku süsteemi/mudelit, mida lõppkasutajad mitme missiooni jaoks edukalt juurutavad.
Eeldatav investeeringu maht	500-1500 €/kW. 500 MW-ne jaam kuni 750 mln eurot. Osaliselt saab katta maapõuest kaevandatud maavarade müügiga (nt graniit).
Eeldatav kasutegur	70-80%
Kriitilised ressursid (oskused, materjalid vms)	Eestis puudub käitamiskogemus ja rajamise oskusteave – tuleb teatud määral sisse osta.  PHEJ on kriitiliste materjalide (metallid) kasutuse osas üks sobivamaid lahendusi.
Väärtusloome ja võimalikud kitsaskohad	Suur energiamahutavus ning ühikvõimsus, kiire reageerimisaeg ja pikk eluiga. Tänapäeval saab ka sagedust reguleerida nii laadimis- kui ka tootmisrežiimis. Sobib tipptootmisseadmena ja elektrisüsteemi taaskäivitamiseks, võimaldab optimeerida baaselektrijaamade töörežiime, pikendades nende eluiga ja kasutegurit.  Puudusteks on erinõuded asukohale ja füüsilistele omadustele, mõõdukas kasutegur.
Realistlik kasutusmaht Eesti turul	Realistlik kasutusmaht on tänasel päeval kõigist salvestustehnoloogiatest suurim: 500 MW (6 GWh) + 50 MW (100-150 MWh) on juba arenduses
Eestisse sobivuse hinnang (põhjendus)	Eestis on välja selekteeritud juba kaks sobivat kohta. Suurema jaama (500 MW) jaoks Paldiski linna lähedale Pakri poolsaarele <sup>17</sup> . Selle eeltööd toimuvad, lisavõimalusena on teedeehituseks kasutava graniidi pakkumine.  Teine (50 MW) kavandatakse Estonia kaevanduse alale <sup>18</sup> .  Sobivus Eestisse skaalas 1-10 oleks 8-9.

<sup>16</sup> Vaata detailsemat kirjeldust lisas 6.1.

<sup>17</sup> <https://energiasalv.ee/projekt/>

<sup>18</sup> <https://www.energia.ee/uudised/avaleht/-/newsv2/2020/12/20/eesti-energia-sai-pumphydroelektrijaama-rajamiseks-rohelise-tule>



	Kasutusmugavuselt oleks hinne 9.
--	----------------------------------

*Tabel 7 Mehaaniline energiasalvestus. Suruõhk-energiasalvesti (CAES)*

Lühikirjeldus <sup>19</sup>	<p>Energiasalvestus toimub õhu mehaanilisel kokku surumisel kompressoritega, mis suunatakse looduslikku gaasitihedasse kambrisse (nt mahutid, vanad kaevandused, poorsed kivimid jne). Õhu vabastamisel rõhu alt juhitakse see läbi ajamite, mille poolt genereeritud elekter suunatakse võrku.</p> <p>Ainuke suuremahuline salvesti peale PHEJ, suhteliselt kiire – käivitamisest maksimaalse võimsuseni vähem kui 10 minutit. Salvestusmaht 10 MWh - 10 GWh, nominaalvõimsusel töötamise aeg 2-30 h, eluiga 20-40 aastat.</p>
TVT (TRL)	6-8 (skaalas 1-9)
Kommentaariid TRL juurde	<p>Prototüpsüsteem kontrollitud. Näited võivad hõlmata süsteemi/mudeli prototüüpi, mida toodetakse ja demonstreeritakse simuleeritud keskkonnas (adiabaatiline CAES – kasutatakse ära ka komprimeerimisel tekkinud jääksoojus hiljem õhu soojendamiseks, mis tõstab kasuteguri kuni 70%ni.).</p> <p>TRL tase on oluline aste edasi tehnoloogilises küpsuses. Olemasolevad näited võivad hõlmata prototüübi mudelit/süsteemi, mida kontrollitakse või katsetatakse töökeskkonnas ehk kommertskasutuses (adiabaatiline CAES).</p> <p>Süsteem/mudel on toodetud ja kvalifitseeritud. Enamikul juhtudel tähistab see TRL arenduse lõppu. Süsteem/mudel on end tõestanud ja valmis täielikuks kommertskasutuseks.</p>
Eeldatav investeeringu maht	350-400 €/kW (head geoloogilised tingimused) ja 400-1200 €/kW (halvemad tingimused). Adiabaatiline SÕES 1200-2000 €/kW.
Eeldatav kasutegur	40-70%
Kriitilised ressursid (oskused, materjalid vms)	<p>Eestis puudub käitamiskogemus ja rajamise oskusteave.</p> <p>Teave ja projektid tulevad sisse osta.</p>
Väärtusloome ja võimalikud kitsaskohad	<p>Ideaalne tasakaalustamiseks suuri muutusi koormuses ja elektri tootmises. Talub tihedaid sisse- ja väljalülitamise tsükleid. Saab kasutada süsteemiteenuse pakkumiseks, st sageduse reguleerimiseks, koormuse järgimiseks ning pingereguleerimiseks. Eriti atraktiivsed tuuleparkide integreerimiseks elektrivõrguga.</p> <p>Puudusteks on madal kasutegur, spetsiifilised asukohanõuded ja laiaulatuslik keskkonnamõju.</p>

<sup>19</sup> Vaata täiendavat kirjeldust lisas 6.1.

Realistlik kasutusmaht Eestis turul	Eestis raske leida geoloogiliselt sobivaid asukohti. Realistlik kasutusmaht Eestis määramata, maksimaalne võimsus võiks olla kuni 1000 MW,
Eestisse sobivuse hinnang (põhjendus)	Kui leitakse geoloogiliselt sobiv koht, peaks rajama adiabaatilise CAES-i, mille kasutegur kõrgem, kuid TRL on 6-7. Sobivus Eestisse skaalas 1-10 oleks 7-8. Kasutusmugavuselt oleks hinne 8.

*Tabel 8 Mehaaniline energiasalvestus. Hoorattad (FES)*

Lühikirjeldus <sup>20</sup>	Energiat salvestatakse hooratta pöörlevas massis kineetilise energiana (mootorirežiimis) ning muundatakse mehaaniliselt tagasi elektriks generaatorirežiimis. Kaasaegsed kiirekäigulised hoorattad on kerged ja suure pöörlemiskiirusega. Töötavad valdavalt atmosfäärilise rõhu (100 kPa) või vaakumilähedase rõhu (0,1 Pa), suurem kiirus madalamal rõhul.
TVT (TRL)	7-9 (skaalas 1-9)
Kommentaariid TRL juurde	Oluline aste tehnoloogilises küpsuses. Näited võivad hõlmata prototüübi mudelit/süsteemi, mida kontrollitakse töökeskkonnas. Süsteem/mudel toodetud ja kvalifitseeritud. Enamikul juhtudel tähistab see TRL arenduse lõppu. Süsteem/mudel on end tõestanud ja valmis täielikuks kommertskasutuseks. Näide sisaldab tegelikku süsteemi/mudelit, mida lõppkasutajad mitme missiooni jaoks edukalt juurutavad.
Eeldatav investeeringu maht	Aeglasekäigulised 150-250 €/kW. Kiirekäigulised ~2000 €/kW. Salvestusmaht kuni 0,25-5 MWh. Tipuvõimsus kuni 1-20 MW, täisvõimsuse kasutamine 5-30 min.
Eeldatav kasutegur	70-95%
Kriitilised ressursid (oskused, materjalid vms)	Eestis puudub käitamiskogemus ja rajamise oskusteave. Teave, projektid ja seadmed tulevad sisse osta.

<sup>20</sup> Vaata täiendavat kirjeldust lisas 6.1.

Väärtusloome ja võimalikud kitsaskohad	<p>Hooratastel on kiire reageerimiskiirus, suhteliselt pikk eluiga (~20 a või kümned tuhanded töötükid), madal hooldusvajadus ning need on keskkonnasõbralikud.</p> <p>Kasutatakse elektrikvaliteedi parendamise rakendustes, nagu kasutatakse UPS-e. Sobivad tuulikute varieeruva toodangu kompenseerimiseks.</p> <p>Puuduseks on madal energiatihedus. Suhteliselt väikese võimsusega ning lühikese energia väljaandmise ajaga.</p>
Realistlik kasutusmaht Eesti turul	Realistlik kasutusmaht on tänasel päeval määramata. Vajalikku maht tuleks määrata koos tuuleparkide arendamisega, kui üks võimalus kompenseerida varieeruvat toodangut.
Eestisse sobivuse hinnang (põhjendus)	<p>Seni teadaolevalt ei ole hinnanguid antud.</p> <p>Sobivus Eestisse skaalas 1-10 võiks olla 8.</p> <p>Kasutusmugavuselt oleks hinne 9.</p>

*Tabel 9 Elektrokeemiline energia salvestus. Liitiumioonakud (LIB)*

Lühikirjeldus <sup>21</sup>	Liitiumioonakud on üheks tähtsamaks elektri salvestustehnoloogiks portatiivsetes seadmetes ja mobiilsetes rakendustes. Oluline on kõrge energiatihedus. Turul juba 5000-10 000 tsükliga akud elueaga üle 10 aasta. Akupankade võimsused alla 100 MW ja salvestusmaht kuni 40 MWh. Nominaalvõimsuse kasutamine 10 min kuni 8 h.
TVT (TRL)	8-9 (skaalas 1-9)
Kommentaariid TRL juurde	Süsteem/mudel toodetud ja kvalifitseeritud. Enamikul juhtudel tähistab see TRL arenduse lõppu. Süsteem/mudel on end tõestanud ja valmis täielikuks kommertskasutuseks. Näide sisaldab tegelikku süsteemi/mudelit, mida lõppkasutajad mitme missiooni jaoks edukalt juurutavad.
Eeldatav investeeringu maht	150 – 1300 €/kW. Kodune 10 kW akupank PV-paneelide juurde maksaks umbes 2000 eurot.
Eeldatav kasutegur	90-95%
Kriitilised ressursid (oskused, materjalid vms)	Eestis kohati juba taastuvelektri salvestamiseks kasutuses. Laialdasel kasutamisel maailmas võib tekkida mõne tooraine defitsiit ja akude hind kallineda. Oskused ja kogemused kasutamiseks Eestis on olemas.
Väärtusloome ja võimalikud kitsaskohad	Suur energiatihedus, (kuni 120 Wh/kg) madal energiakadu, ligi 5% kuus. Massivõimsus kuni 1800 W/kg. Lühike tühjenemisaeg nimivõimsusel kuni

<sup>21</sup> Vaata täiendavat kirjeldust lisas 6.1.

	<p>0,0172+ h. Reaktsiooniaeg vähem kui 1 sekund. Eeldatav eluiga 10-15 aastat.</p> <p>Puudusteks kõrge hind, täielik tühjenemine rikub elemendi, vananeb ka mittekasutamisel (5 aastaga), vajab temperatuurikontrolli ja süvatühjenemise kaitset. Samuti on puuduseks võimalik ressursside nappus masstootmise korral (vajadus transpordis).</p>
Realistlik kasutusmaht Eesti turul	Realistlikuks koguvõimsuseks on tänasel päeval hinnatud kuni 1000 MW <sup>22</sup> . Kasutusmaht sõltub konkreetsest tarbijast.
Eestisse sobivuse hinnang (põhjendus)	<p>Eestis oleksid sobivamad kasutuskohad väikeste päikeseelektrijaamade juures kodumajapidamistes ja korteriühistutes, mis tasandaksid hommikusi elektrikasutuse tippe ja võimaldaks saada odavat elektrit vahelduva pilvisusega ilmade aegu.</p> <p>Sobivus Eestisse skaalas 1-10 oleks 9-10.</p> <p>Kasutusmugavuselt oleks hinne 10.</p>

*Tabel 10 Elektrokeemiline salvestus. Läbivooluakud (Redox battery)*

Kirjeldus <sup>23</sup>	<p>Läbivooluakud on alternatiiv liitiumioonakudele. Kuigi liitiumioonakudest vähem populaarsed – vooluakud moodustavad akuturust vähem kui 5 protsenti –, on vooluakusid kasutatud mitmes energiasalvestusprojekti, mis nõuavad pikemat energiasalvestuse kestust. Vooluakudel on suhteliselt madal energiatihedus ja pikk eluiga, mistõttu sobivad need hästi pidevaks toiteallikaks. Näiteks Washingtoni osariigis asuv Avista Utilities tehas kasutab vooluaku salvestusruumi.</p> <p>Hiinas Dalianis ehitatakse 200 MW (800 MWh) vooluakut. See süsteem ei ületa mitte ainult Hornsdale Power Reserve'i kui maailma suurimat akut, vaid on ka ainus suuremahuline aku (&gt;100 MW), mis koosneb liitiumioonakude asemel vooluakudest.</p>
TVT (TRL)	6-8 (skaalas 1-9)
Kommentaariid TRL juurde	Süsteem/mudel toodetud ja kvalifitseeritud. Enamikul juhtudel tähistab see TRL arenduse lõppfaasi. On end tõestanud ja valmis täielikuks kommertskasutuseks. Näide sisaldab tegelikku süsteemi/mudelit, mida lõppkasutajad mitme vajaduse jaoks edukalt juurutavad.
Eeldatav investeeringu maht	Tsinkbromiid (Zn-Br) aku võimsusühiku maksumus on 500-2300 €/kW. Kodune 4 kW akupank PV-paneelide juurde maksaks keskmiselt 2000 eurot. Vanaadium-redox (VR) aku võimsusühiku hind on keskmiselt 1500 €/kW.
Eeldatav kasutegur	60-85%

<sup>22</sup> Nt 2021.a SA Rohtiger juhtimisel valminud Energiateekaart;

<sup>23</sup> Vaata täiendavat kirjeldust lisas 6.1.

Kriitilised ressursid (oskused, materjalid vms)	Eestis ei ole teadaolevalt salvestamiseks kasutuses. Laialdasel kasutamisel maailmas võib tekkida mõne tooraine defitsiit ja akude hind kallineda. Eestis on uuringute tasemel oskused ja kogemused olemas Tartu Ülikoolis.
Väärtusloome ja võimalikud kitsaskohad	Suhteliselt madal energiatihedus, (kuni 20-70 Wh/l ehk 70-90 Wh/kg) väga väike energiakadu. Võimsustihedus 0,5-2 W/l.  Tühjenemise aeg nimivõimsusel pikem kui Li-ioon akudel – 2-5 h. Reaktsiooniaeg vähem kui 1 sekund. Eeldatav eluiga oluliselt pikem kui Li-ioon akudel.  Sobib hästi taastuenergia rakendustesse, kus iga päev on vajalik pidev energia vähemalt 10 kWh ühe aku kohta (Redflow aku näitel). Negatiivseks asjaoluks on aku mittedobivus suurte laadimis-tühjenemisvooludega tippkoormuste katmiseks. Töötemperatuuri vahemik on 15...50 °C, sellest külmemate temperatuuride korral aku võib ennast ise välja lülitada, kuid see ei kahjusta akuelementi.
Realistlik kasutusmaht Eesti turul	Realistlikuks akude koguvõimsuseks on tänasel päeval hinnatud kuni 1000 MW <sup>24</sup> . Läbivooluakude kasutusmaht sõltub konkreetsest tarbijast ja hinnatundlikkusest, võivad osutada odavamateks kui Li-ioonakud.
Eestisse sobivuse hinnang (põhjendus)	Eestis oleksid sobivamad kasutuskohad väikeste päikeseelektrijaamade juures kodumajapidamistes ja korteriühistutes, mis tasandaksid hommikusi elektrikasutuse tippe ja võimaldaks saada odavat elektrit vahelduva pilvisusega ilmade aegu.  Sobivus Eestisse skaalas 1-10 oleks 9-10.  Kasutusmugavuselt oleks hinne 9.

*Tabel 11 Keemiline salvestus. Vesinik*

Lühikirjeldus <sup>25</sup>	Elektri salvestamine vesinikuna oleks sobiv taastuval aeg muutuva koormusega energiaallikatel töötavate elektrijaamade juurdes. Seadmed on elueaga 5-30 aastat. Salvestite elektrilised võimsused vahemikus 0,01-1000 MW ja salvestusmaht kuni 100 GWh. Nominaalvõimsuse kasutamise aeg mitmeid tunde kuni kuid.
TVT (TRL)	8-9 (skaalas 1-9)
Kommentaariid TRL juurde	Süsteem/mudel toodetud ja kvalifitseeritud. Enamikul juhtudel tähistab see TRL arenduse lõppu. Süsteem/mudel on end tõestanud ja valmis täielikuks kommertskasutuseks. Näide sisaldab tegelikku süsteemi/mudelit, mida lõppkasutajad mitme missiooni jaoks edukalt juurutavad.

<sup>24</sup> Nt 2021.a SA Rohtiger juhtimisel valminud Energiateekaart;

<sup>25</sup> Vaata täiendavat kirjeldust lisas 6.1.

Eeldatav investeeringu maht	2000-5000 €/kW.
Eeldatav kasutegur	20-45%
Kriitilised ressursid (oskused, materjalid vms)	Eestis kavandatakse vesiniku tootmist ja salvestamist. Oskused ja kogemused kasutamiseks Eestis on olemas TÜs.
Väärtusloome ja võimalikud kitsaskohad	Oluline on suhteliselt suur energiatihedus – 600 Wh/l (200 bar) ehk võimsustihedus 0,2-20 W/l. Puudusteks kõrge hind ja suhteliselt madal kasutegur. Samuti on hoiustamiseks ja transportimiseks vajalikud eritingimused.
Realistlik kasutusmaht Eesti turul	Realistlikuks koguvõimsust ei ole tänaseks päevaks veel hinnatud. Kasutusmaht sõltub turu vajadusest, eelkõige transpordisektorist ning ka tuulenergeetika arengust (meretuuleparkide toodangu kasutamine).
Eestisse sobivuse hinnang (põhjendus)	Eestis oleksid sobivamad kasutuskohad suurte päikeseelektrijaamade ja tuuleparkide juures, mis salvestaksid taastuva elektri ülejääki.  Sobivus Eestisse skaalas 1-10 oleks 7-8.  Kasutusmugavuselt oleks hinne 8.

### Järeldused

*Põhjalikumaks analüüsiks soovitame järgnevaid tehnoloogiaid:*

**Vesinik** – kuna plaanitakse kasutusele võtta transpordis (Eesis juba pilootprojektide staadiumis), siis on otstarbekas uurida alternatiivkasutuse võimalusi muudes energiakasutuse valdkondades (soojuse ja elektri tootmine).

**PHS** – maailmas täna domineeriv elektrisalvestamise tehnoloogia ning kahe projekti arendamine toimub ka Eestis.

**LIB** – täna ainuke akutehnoloogia, mis on finantseeritav pankade poolt. On juba kasutusele võetud päikeseelektri väiketootjate poolt ning selle lähedal on ka suuremate päikesepeakide arendajad. Samuti kaalub võrgulaienduse asendusena liitiumioonakusid Elektrilevi (hange on ettevalmistamisel). Lätis ja Leedus paigaldavad akupankasid riiklikud ülekandevõrgu ettevõtted (konkurentsitemaatika!), eesmärgiga pakkuda süsteemiteenuseid, eelkõige pärast desünkroniseerimist.

**Läbivooluakud** – eelkõige tsinkbromiid ja vanaadium-redox akud; oleksid alternatiiviks LIBile, on ka teatud parameetritelt paremad (pikem tühjenemistsükkel ja eluiga); samuti aitaks hajutada ühe tehnoloogia ning teatud ressursside kasutamisega (nt liitium) seotud riske. Täna on hinna, eluea ja tehnoloogiliste näitajate võrdluses siiski liitiumioonakud veel eelistatud.

### 3.2.2. Soojuse salvestamine

Tsentraalsetes energiavarustussüsteemides kasutatakse peamiselt soojuse salvestamist ilmse soojusena, st tõstes salvestava materjali temperatuuri ei toimu salvestina kasutatavas aines faasimuutust ega keemilisi protsesse.

Soojuse salvestamist on võimalik rakendada mitmetel eesmärkidel, millest olulisemad on toodud Tabel 12.

Tabel 12 Soojuse salvestamise rakendatavuse võimalused<sup>26</sup>

		Ilmne soojus	Varjatud soojus	Termo-keemiline (TCS)
<b>Parandada kaugkütte ja – jahutussüsteemi tööd</b>	Kütte ja jahutuse tootmisvajaduse nihutamine	+		
	Maksimeerida baaskoormuse tootmist	+		
	Vähendada tippkoormuse tootmist	+		
	Parandada soojuse taaskasutamist heitsoojusest ja "juba saadaolevast jääsoojusest"	+		
	Parandada soojuse ja elektri koostootmises soojuse/elektri suhet	+		
	Elektri muundamine soojuseks	+		
<b>Madala süsinikusaldusega energia kasutamine ja integreerimine soojuse tootmiseks</b>	Nõudluspõhine/pidev soojusvarustus lokaal- ja kaugküttest	+	0	0
	Nõudluspõhine/pidev soojusvarustus päikeseenergia soojusest	+	+	+
	Nõudlusest lähtuv/pidev soojuse kasutuselevõtt päikesesoojuse jaamadest	+	+	0
	Elamute küttesektori dekarboniseerimine, kasutades muutuva koormusega taastuvenergiat (nt tuuleenergia, päikeseenergia)	+	+	0
	Power-to-Heat (elekter soojuseks) kontseptsiooni kasutamine	+	+	0
	Kombineeritud päikeseenergiasüsteemid	+	0	0
<b>Tööstusprotsesside energiatõhususe suurendamine</b>	Tööstusliku jääsoojuse kasutamine	+	+	0
	Elektri, soojuse ja jahutuse lahti sidumine tootmisel koostootmisjaamades	+	+	0
<b>Hoonete energiatõhususe suurendamine</b>	Sooja- ja jahutusvajaduse tasakaalustamine	+	+	0
	Elektri, soojuse ja jahutuse lahti sidumine tootmisel mikrokoostootmisjaamades	+	+	0
	Igapäevase nõudluse tasakaalustamine	+	+	0
	Hooajalise nõudluse tasakaalustamine	+	0	0

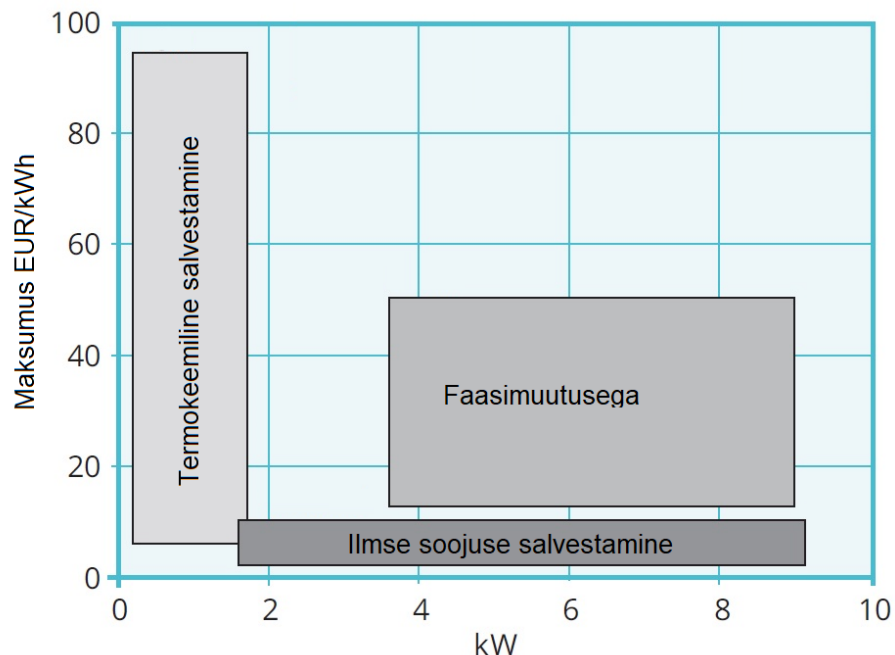
\* „+“ tava-/eeliskasutus

<sup>26</sup> Joint EASE/EERA recommendations for a European Energy Storage Technology Development Roadmap, 2017 update

\*\* „0“ potentsiaalne kasutus

Kõige odavam on salvestamine ilmse soojusena, vt ka *Joonis 5*.

*Joonis 5 Põhiliste soojuse salvestamisviiside maksumused<sup>27</sup>*



Saavutades salvesti piisavalt kõrge temperatuuri<sup>28</sup> on põhimõtteliselt võimalik ka salvestatud soojust kasutada elektri tootmiseks. Sellised salvestid on suhtelised suured, mistõttu salvestatava materjalina kasutatav aine peab olema laialdaselt saadav, odav ja suhteliselt kõrge erisoojusega. Sobivaimaks peetakse rauda (3,9 MJ/m<sup>3</sup>) ja vett (4,2 MJ/m<sup>3</sup>), mis on ühed suurema energiamahutavusega ained.

Vee baasil mahtsalvestamine kaugküttesüsteemides on suhteliselt laialdaselt kasutusel näiteks Taanis, kus on üle mindud madalatemperatuurilisele kaugküttele. Viimane võimaldab antud salvestustehnoloogiat paremini rakendada. Taanis on installeeritud salvestusvõimsus üle 50 GWh ja seda rohkem kui 3000 kaugküttekattlamajas. Kuus salvestit on mõeldud hooajaliseks salvestamiseks. Suurima suurus on rohkem kui 200 000 m<sup>3</sup> vett.<sup>29</sup>

Kõrgema TRLiga ja potentsiaalselt Eestisse sobivamate tehnoloogiate põhjalikum ülevaade on toodud järgnevas tabelites.

<sup>27</sup> Energy storage inter-platform group GIA. STATE OF THE ART OF ENERGY STORAGE REGULATIONS AND TECHNOLOGY.

<sup>28</sup> Rankine'i ringprotsessi jaoks

<sup>29</sup> Joint EASE/EERA recommendations for a European Energy Storage Technology Development Roadmap, 2017 update



Tabel 13 Mahtsalvestus veega

Parameeter	Kirjeldus
Lühikirjeldus	Võimaldab salvestada suurde mahtu
TRL	Väikeelamutes – TRL 9 Kaugküttesüsteemid – TRL 8-9 Maa-alune salvestamine – TRL 9 <sup>30</sup>
Kommentaariid TRL juurde	Robustne tehnoloogia.
Eeldatav investeeringu maht	0,5 <sup>31</sup> mln €/MW; 0,1-10 EUR/kWh <sup>32</sup>
Eeldatav kasutegur, energiatihedus	Kasutegur 50-90%. <sup>33</sup> Energiatihedus 10-50 kWh/m <sup>3</sup> .
Tühjenemise aeg	Sõltub suurusest, võib olla: 1) tundides 2) päevades 3) hooajalised (kütteperiood)
Kriitilised ressursid	Kriitilisi ressursse ei ole
Muud kitsaskohad (sh regulatsioonid)	1) Maa-alusesse looduslikku reservuaari salvestamisel võib põhjustada geoloogilisi kahjustusi ja pinnase struktuurimuutuseid 2) Madal energiakvaliteet 3) Kaugküttesüsteemide suhteliselt kõrged parameetrid 4) Madalatemperatuurilise kaugkütte puudumine Eestis 5) Kaugkütteettevõtted soovivad, et salvestusseadet käsitletakse hinnaregulatsioonis kaugküttevõrgu osana, mitte tootmisseadmena
Realistlik kasutusmaht Eesti turul	1) Peamine kasutuskoht on hoonetes – akukumulatsioonipaagid. 2) Kaugküttevõrgud – suvise päikeseenergia, odava öise elektri, koostootmisjaamade üle jääv heitsoojuse (eriti suvel) kasutamine
Eestisse sobivuse hinnang	1) Sobib ja on laialdaselt kasutusel hoonete soojusvarustuses, lokaalsete soojusvarustussüsteemide korral 2) Kaugküttesüsteemides ei ole seniste uuringute põhja olnud tasuv. 2021 toimunud energiakandjate hindade tõusuga võib muuta tasuvaks

<sup>30</sup> Taani, Rootsi, Holland, Norra – päike, geotermaal hooajaline salvestamine; mujal riikides demonstratsioon- ja pilootjaamade tasemel.

<sup>31</sup> Joint EASE/EERA recommendations for a European Energy Storage Technology Development Roadmap, 2017 update

<sup>32</sup> [https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/E17IR%20TheEnergy%20Stor\\_AH\\_Jan2013\\_final\\_GSOK.pdf](https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/E17IR%20TheEnergy%20Stor_AH_Jan2013_final_GSOK.pdf)

<sup>33</sup> [https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/E17IR%20TheEnergy%20Stor\\_AH\\_Jan2013\\_final\\_GSOK.pdf](https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/E17IR%20TheEnergy%20Stor_AH_Jan2013_final_GSOK.pdf)

Kuna veega mahtsalvestus on senini ja ka tulevikus potentsiaalselt domineeriv soojuse salvestuse viis maailmas, siis toome selle kohta ära ka SWOT tabeli.

*Tabel 14 Veega mahtsalvestuse SWOT tabel*

<p><b>Tugevused:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lihtne tehnoloogia;</li> <li>2. Kergesti juhitav;</li> <li>3. Ei nõua spetsiifilisi teadmisi;</li> <li>4. Üle maailma laialdaselt kasutuses ja tehniliselt tõestanud tehnoloogia;</li> <li>5. Vesi on suhteliselt hea energiamahutavusega</li> </ol>	<p><b>Nõrkused:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vajavad suhteliselt palju ruumi;</li> <li>2. Salvestamise temperatuur on madal;</li> <li>3. Kaugküttesüsteemides vajatakse kuni 130 °C pealevoolu temperatuuri, st mahutites peab olema atmosfäärirõhust kõrgem rõhk;</li> <li>4. Lekkekohtade kindlaks tegemine maa-aluste mahutite korral nõuab lisameetmeid;</li> <li>5. Kõrged parameetrid kaugküttesüsteemides</li> </ol>
<p><b>Võimalused:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Salvestada lühiajaliselt tippude katmiseks;</li> <li>2. Salvestada kaugküttesüsteemides suveperioodil üle jäävat soojust kütteperioodiks;</li> <li>3. Salvestamisega katta tootmisüksuse lühiajalist seisakut (nt avariid);</li> <li>4. Kasutada öist odavat elektrit (kui elektri maksumus koos võrgutasudega (sh aktsiis ja taastuvenergiatasu) on madalam kui soojuse tootmiseks saadava soojuse hind kütuse maksumuse ja katla kasutegurit arvestades);</li> <li>5. Tõsta süsteemide varustuskindlust;</li> <li>6. Vähendada primaarenergia tarbimist;</li> <li>7. Vähendada CO<sub>2</sub> heidet;</li> <li>8. Süsteemide edasine arendamine, standardiseerimise läbi alandada ehituskulusid;</li> <li>9. Kombineerida salvestamist mitmest allikast (heitsoojus, päike, odav õine elekter jne);</li> <li>10. Soojuse kasutamine kaugjahutussüsteemides adsorptsioonseadmetega külma genereerimiseks</li> </ol>	<p><b>Ohud:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Maa-aluste reservuaaride korral maapinna geoloogia ja struktuuri muutuste oht;</li> <li>2. Rõhu all olevate mahutite purunemine;</li> <li>3. Lekkimisel suuremahuline vee väljavool;</li> </ol>

Suurim varjatud soojuse salvesti, mis on viimati ehitatud, oli Saksamaal 6MW/1,5MWh koostootmisjaama juurde ja eesmärgiks on genereerida 305 °C ülekuumendatud auru.<sup>34</sup>

*Tabel 15 Varjatud soojuse salvestamine*

<b>Parameeter</b>	<b>Kirjeldus</b>
Lühikirjeldus (sh mis probleeme lahendab ehk)	Orgaaniline faasimuutusega materjal, vesi-jää

<sup>34</sup> Joint EASE/EERA recommendations for a European Energy Storage Technology Development Roadmap, 2017 update

TRL	Hoonete korral jahutussüsteemides tippude ühtlustamiseks („silumiseks“) kommertskasutuses – alla 0°C: TRL 9. Soolahüdraatide ja parafiinivahade baasil süsteemid on osaliselt kommertsialiseeritud: TRL 6-8). Kõrgemate temperatuuridel (140-305 °C) salvestamine on veel laboriuuringute ja demonstratsioonprojektide tasemel: TRL 7. Suuremate võimsustega ja energiamahutavustega süsteemid on uurimis- ja arendusfaasis, mõned demonstratsioonprojektid on tehtud: TRL 4-8
Kommentaariid TRL juurde	TRL tase sõltub salvestusmeediumist ja temperatuurist.
Eeldatav investeeringu maht	0,4 – 70 EUR/kWh <sup>35</sup>
Eeldatav kasutegur, energiatihedus	Kasutegur 75-90%. <sup>36</sup> Energiatihedus 80-110 kWh/m <sup>3</sup> .
Tühjenemise aeg	Väiksemad tundides, suuremad päevades. Ei sobi hooajaliseks salvestamiseks.
Kriitilised ressursid (primaarenergia, materjalid, spetsialistid vm)	Vesi-jää süsteem on tavapärane. PCM materjalid on siiski veel suhteliselt kallid ja ei ole usaldusväärsed. Soojusülekanne ja soojusjuhtivus vajab parendamist.
Väärtusahela kitsaskohad (sh regulatsioonid)	1) Mõistlik salvesti suurus 0,01-10MWh on kaugkütte seisukohalt väike 2) Mitte piisavalt hea soojusjuhtivus ja -ülekanne 3) Materjalid vajavad parendamist
Realistlik kasutusmaht Eesti turul	Peamine kasutuskoht hoonete süsteemides ja pigem jahutussüsteemides.
Eestisse sobivuse hinnang	1) Sobiks pigem hoonete korral 2) Kaugküttesüsteemides ei ole otstarbekas.

Tabel 16 Termokeemiline salvestamine

Parameetrid	Kirjeldus
Lühikirjeldus	Kasutatakse ära keemilisi reaktsioone ja sorptsioonimehhanismi
TRL	Peamiselt uurimis- ja arendusfaasis, va sorptsioonipumbad. <sup>37</sup> Keemilistel reaktsioonidel põhinevad süsteemid: TRL 3-4 Sorptsioonisüsteemid: TRL 5-7 Sorptsioonisojuspumbad on kommertskasutuses: TRL 9

<sup>35</sup> Joint EASE/EERA recommendations for a European Energy Storage Technology Development Roadmap, 2017 update

<sup>36</sup> [https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/E17IR%20TheEnergy%20Stor\\_AH\\_Jan2013\\_final\\_GSOK.pdf](https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/E17IR%20TheEnergy%20Stor_AH_Jan2013_final_GSOK.pdf)

<sup>37</sup> Joint EASE/EERA recommendations for a European Energy Storage Technology Development Roadmap, 2017 update

Kommentaariid TRL juurde	TRL tasemete erinevus on tingitud materjalide maksumusest
Eeldatav investeeringu maht	10-130 EUR/kWh <sup>38</sup>
Eeldatav kasutegur, energiatihedus	Kasutegur 75-100%. <sup>39</sup> Energiatihedus 100-400 kWh/m <sup>3</sup> .
Tühjenemise aeg	Väiksemad tundides, suuremad päevades.
Kriitilised ressursid	Materjalid peavad olema suhteliselt odavad
Väärtusahela kitsaskohad (sh regulatsioonid)	1) Mõistlik salvesti suurus sõltub osaliselt süsteemist, kuid sorptsioonprotsessi korral 2-4 MWh. 2) Fundamentaaluuringud materjalide ja reaktorite osas on vajalikud.
Realistlik kasutusmaht Eesti turul	
Eestisse sobivuse hinnang	

### Järeldus

Sisuliselt ainuke kasutuses olev ning lähitulevikus potentsiaalselt ka kaugküttes kasutamiseks valmis olev tehnoloogia on **mahtsalvestus veega**. Seetõttu on soovitatav põhjalikumalt kaaluda selle tehnoloogia tugevamat toetamist Eestis. Selle salvesti lisaväärtusteks on CHPde töötamine sujuvamal režiimil ning võimalus kasutada avariiveehoidlana (lekete korral saab salvestiga edukalt võrku edasi töös hoida).

Kindlasti oleks veel vaja täiendavalt uurida lokaalseid eripärasid arvestades erinevaid võimalusi ja rakendatavusi ning koosmõju mitmete tootmis- ja salvestuslahendustega.

Tallinna kaugküttevõrgu operaator on teinud eeluuringuid. Tasuvus ja majanduslik põhjendus sõltub tugevasti salvesti maksumusest. Minimaalne hinnanguline maht on hinnanguliselt 30 000m<sup>3</sup>. Salvesti minimaalne võimsus Tallinna koostootmisjaamade juures peaks olema 230MW, et tasuks asendada talvist maagaasiga toodetavat soojust biokütusega toodetud soojusega. Muutliku temperatuuriga ilmadega on päeval soojuse ülejääk ja öösel peab maagaasiga lisaks kütma.

Igasuguse sellise arenduse probleemiks on, et ettevõtte poolt saavutatav sääst „võetakse“ temalt riikliku hinnaregulatsiooni kaudu ära ja see ei motiveeri. Seetõttu on vajalik riigipoolne investeeringutoetus (nt Poola, Skandinaavia). Kaugjahutuses ei ole võimalik koostootmisjaama heitsoojust kasutada sisendina suvel nt adsorptsioonjaama jaoks (üle jäävat külma saaks ka salvestada, nt päevaste jahutuskooormuste tippude katmiseks), kuna 0-hinnaga soojust Konkurentsiameti poolt ei aktsepteerita. Koostootmisjaama heitsoojus tuleb seega juhtida atmosfääri, kuigi otstarbekam oleks seda kasutada külma tootmiseks nagu seda näiteks tehakse Skandinaavia kaugküttesüsteemides.

Riiklikud regulatsioonid on soovitatav üle vaadata ja kohandada kaasaegsete energiasüsteemidest lähtuvaks, et tagada energiasüsteemide omavaheline mõistlik sümbioos. Öösel odavamale elektri

<sup>38</sup> Joint EASE/EERA recommendations for a European Energy Storage Technology Development Roadmap, 2017 update

<sup>39</sup> [https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/E17IR%20TheEnergy%20Stor\\_AH\\_Jan2013\\_final\\_GSOK.pdf](https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/E17IR%20TheEnergy%20Stor_AH_Jan2013_final_GSOK.pdf)

tarbimine soojuste salvestamiseks on komplitseeritud võrgutasude tõttu, kuna hinnavahe kütuse hinnaga ei ole piisav.

### 3.3. Valitud lahendused eelisarendamiseks

Eelnevate peatükkide põhjal on Eestis eelisarendamiseks valitud järgmised salvestustehnoloogiad:

- Pump-hüdrosalvestus
- Liitium-ioonakud
- Läbivooluakud (redox)
- Vesinik
- Mahtsoojussalvesti (vesi)

Järgnevas tabelis (Tabel 17) tuuakse ära need salvestusviisid ja tehnoloogiaid koos oluliste parameetritega, mida võiks hakata Eestis rakendama. Probleemaatilisem nendest on hooratassalvestus, mida võiks kasutada suurte tuulikute juures, kuid on ka paremaid ja odavamaid lahendusi.

*Tabel 17 Valitud salvestusviise iseloomustavad parameetrid*

Salvestus tehnoloogia	Maksimaalne <sup>40</sup> võimsus, MW	Tühjenemise aeg	Eluiga või tsüklite arv	Energiatihedus (Wh/l)	Kasutegur
Pump-hüdrosalvestus	3 000	4h – 16h	30 – 60 aastat	0,2 – 2	70 – 85%
Liitiumioonakud	1 000	1 min – 8h	1 000 – 10 000 tsüklit	200 – 400	85 – 95%
Läbivooluakud (redox)		mitmeid tunde	12 000 – 14 000 tsüklit	20 – 70	60 – 85%
Vesinik	Sõltub tuuleenergia ja vesiniku-transpordi arengust	minutid – nädal	5 – 30 aastat	600 (alates 200 bar)	25 – 45%
Mahtsoojussalvesti (vesi)	Minimaalselt 230 MW	päevades	30 aastat	10-50	50-90%

<sup>40</sup> „Maksimaalne“ ei ole küll kõikidel juhtudel päris kohane.

## 4. MEETMED JA REGULATSIOONID

Meetmete rakendamise ja regulatsioonide muutmise vajadus sõltub salvestite turule tuleku ees seisvatest takistustest. Takistused – õiguslikud-administratiivsed ja majanduslikud – salvestusturu tekkimiseks/toimimiseks kaardistati kirjandusallikate ning eksperdiintervjuude põhjal (vt Lisa 5.1). Sarnaselt tuvastati ka toetavad meetmed, mille all ei ole mõeldud ainult majanduslikku toetamist, vaid ka õiguslik-administratiivsete takistuste kõrvaldamist. Leitu põhjal pakuti välja tegevused ja tegevuskava (vt ptk **Tõrge! Ei leia viiteallikat.**) salvestuse turu elavdamiseks.

Käesolevat peatükki alustatakse üldise tausta loomisega sellest, miks meetmeid rakendada ning millistest prioriteetidest ja eelistustest lähtuda.

### 4.1. Põhjustusi meetmete ja regulatsioonide täiendamiseks

#### Eesmärkide seadmine

Turuosaliste hinnangul on oluline riiklikult defineerida ja täpsustada elektrisüsteemi toimimisega seotud eesmärgid – täna on rõhuasetus varustuskindlusel, kuid süsteemi tuleks vaadelda laiemalt. Võimalike salvestuslahenduste rakendamise eesmärkidenä intervjueerimisel toodi välja:

- Varustuskindlus sh energiajulgeolek, süsteemi toimimine, võrgu võimekus, reservid jms;
- Hinnastabiilsus;
- Taskukohasus (madal hind);
- Kliimaneutraalsus.

Varustuskindluse tagamise ülesanne on täna delegeeritud Elering ASile – kui seada eesmärgid laiemalt (hind, kliima jm), siis võib määrata ka mõne teise institutsiooni, kellele delegeeritakse tegevuste koordineerimine ja järelevalve –süsteemihaldur, kes ei ole samas ülekandevõrgu omanik.

#### Miks toetada: salvestusteenuse olulisus

Salvestustehnoloogiate turule toomist toetavate meetmete lähtekohaks on salvestuse väärtuspakkumine ehk milliseid probleeme see aitab lahendada (vt ptk 3.2.1 ja 3.2.2).

Elektrituru suunatud salvestusteenuse ärimudeli nurgakiviks on elektrituru hinnakõikumiste ärakasutamine ning sellega seoses seisneb salvestuse mõju hinnakõikumiste äärmuste tasandamises ehk **hinnastabiilsuse** eesmärgi toetamises. Salvestamisega võivad kaasneda ka madalamad<sup>41</sup> hinnad ehk elekter muutub **taskukohasemaks**<sup>42</sup>.

Kuid elektri salvestuse mõjud ei piirdu ainult eelnevaga, vaid on laiemad – selleks vaata näiteks käesoleva dokumendi Tabel 3.

---

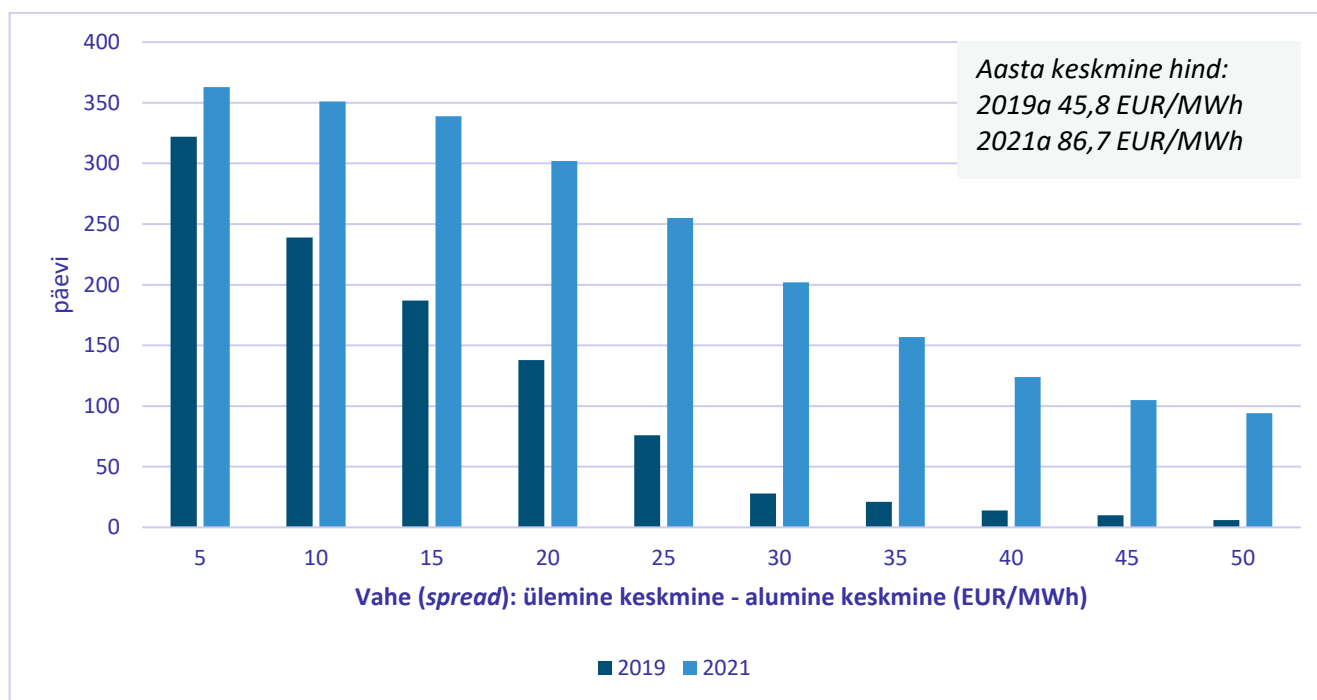
<sup>41</sup> Eeldatavalt on salvesti „laadimise“ perioodil mõju hinnatõusule väiksem, kuna siis on turul palju madala hinnaga (taastuenergia) pakkumist ning hinna tõus on mõõdukam.

<sup>42</sup> Allikas: Salvestusest, Peep Siitam, 2022, lk 6.

Elektri hinnakõikumiste suurenemist on oodata koos mittejuhitava elektritootmise mahtude suurenemisega (mere- ja maismaa tuulepargid, päikeseelekter), millega koos suurenevad ka salvestamise jaoks olulised vaba energia kogused. Energia salvestamiseks ei pea tulema ainult juhitamatust tootmisest vaid ka näiteks tuumajaamadest (Soomes) või muudest tootmisvõimsustest. Samuti ei pea suuremad hinnakõikumised tingimata kaasnema ainult taastuvenergia tootmismahude suurenemisega – heaks näiteks on 2021. aasta, kui suurema volatiilsuse põhjuseks olid ebakindlad majandusolud.

Järgneval joonisel on horisontaalteljel toodud kõrgete ja madalate hinnaperioodide vahed ööpäevases tsükli<sup>43</sup>, vertikaalteljel on nende päevade arv, kui vahe ületas vastavat väärtust horisontaalteljel aastatel 2019 ja 2021.

Joonis 6 Elektri hinna vahe ja päevade arvud 2019 ja 2021.a



Hinnakõikumised on eelkõige segavaks asjaoluks ettevõtetele – nii elektritootjatele kui ka tarbijatele – raskendades planeerimist ning suurendades ebakindlust. Kodumajapidamiste tarbimine on pigem ühtlane ning nende jaoks olulisem keskmine (madal) hind.

2021.a oli ka keskmine elektrihind oluliselt kõrgem kui varem. Salvestamise tasuvus sõltub kahe muutuja kombinatsioonist: mida kõrgem on ostuhind, seda suuremad on salvestaja kulud tekkivate kadude tõttu ning siis on vajalik ka suurem hinna vahe (*spread*), kui madalama ostuhinna korral (vt Tabel 18).

<sup>43</sup> Piiriks on mediaanhind – mõõdeti eraldi kõrgemate (12h) ja madalamate (12h) hindadega perioodide keskmised.

Tabel 18 Vajalik hinnavahe ja müügihind PHEJ (500MW) tasuvuse tagamiseks erinevate ostuhindade juures

Ostuhind, €/MWh	Hinnavahe ( <i>spread</i> ), €/MWh	Müügihind, €/MWh
10	61	71
20	65	85
30	68	98
40	71	111
50	74	124
60	77	137
70	80	150
80	84	164
90	87	177

Allikas: analüüsi autorite arvutus;

Energiateekaardi projektis<sup>44</sup> hinnati salvestusteenuse vajalikuks hinnalisaks (*spread*) 50-60 EUR/MWh, Eesti Energia ekspertide hinnangul isegi üle 100EUR/MWh<sup>45</sup>. Joonis 6 näitab, et selliste päevade (tundide) arv ei olnud ka 2021. aastal ilmselt piisav.

Joonisel on (ostu/müügi) hinnavaheed arvestatud päevasise arvestuse kaupa (st 24h perioodid), tegelik potentsiaal turul on aga suurem. Näiteks kui eeldada PHEJ tööajaks täiskoormusel 2400 tundi aastas, siis 2021.a oli 2400 kallima (tootmine) ja 2400 odavama (laadimine) hinnaga tunni keskmiste vahe ca 133 EUR/MWh. See vahe tagaks salvestajale väga hea kasumlikkuse – keskmine ostuhind oleks olnud ca 31EUR/MWh, selle ostuhinna juures oleks vajalik müügihind 68EUR/MWh ostuhinnast kõrgem (ehk 99EUR/MWh). Juhul kui PHJ pakkumine (99EUR/MWh) oleks määranud tipuhinnad (2400 kõrgemat tunnihinda aastas) ja ostuperioodil poleks PHJ hindu tõstnud, siis oleks Eesti piirkonnas keskmine hind olnud 2021.a ca 20% madalam (86EUR/MWh asemel 69EUR/MWh). See on siiski ainult teoreetiline potentsiaal, mida ei ole tegelikkuses võimalik ära kasutada.

### Prioriteetide ja eelistuste seadmine

Arvestades salvestustehnoloogiate laia valikut, tehnoloogilise valmisoleku taset ning maksumusi, tuleb välja selgitada, millised tehnoloogiad mis eesmärgi saavutada aitavad, et valida välja võimalikud kandidaadid, millele tähelepanu suunata.

Teenuse funktsionaalsusest lähtuvalt saab elektri salvestamise jagada kolmeks grupiks:

1. **Kliendipoolne** ehk väikesemahuline salvestamine peamiselt oma tarbeks;
2. **Võrgusuunaline** salvestamine, kus eesmärgiks on elektriga kauplemine ja muude teenuste (nt süsteemiteenuste) osutamine;
3. **Pikaajaline** salvestamine ehk salvestamine pikemaks perioodiks samuti peamiselt kauplemise eesmärgil.

<sup>44</sup> Rohetiiger, 2021

<sup>45</sup> Pole teada, kui mitu tundi salvesti tööajaks aastas eeldati, Rohetiigril oli see 2400 tundi. Mida vähem tunde, seda suurem peab olema hinnavahe.



Elektrisüsteemi toetavad turuosaliste hinnangul tõhusamalt suuremad ehk nn **võrgusuunalised** (hinnastabiilsus, süsteemiteenused, kliimaeesmärgid) ja **pikaajalised** salvestid (suurem energiapuudus ja energiaga varustus). Kliendipoolsed salvestid saavad süsteemiteenuseid pakkuda siis, kui neid integreeritakse.

Pikema perioodi (kuni hooajaliseni) salvestus muutub olulisemaks juhitamatu taastuenergia tootmise märkimisväärse kasvu korral ehk siis, kui tootmismahud ületavad tarbimist pikemate perioodide jooksul ning tekib suur elektri ülejääk – st suur ülejääk võib tekkida madala tarbimisega perioodidel, kui on tuulised ja päikeselised ilmad ning vastupidine olukord võib tekitada puudujäägi. Kuna elektriturul on rahvusvaheline siis ei saa seda olukorda ainult Eestiga piiritleda, kuid toome näiteks 2021. ja 2022. (5 kuud) aasta ööpäevased maksimaalsed ja minimaalsed tootmise- ja tarbimise mahud<sup>46</sup>, mis näitlikustab salvestamise potentsiaalset vajadust ja võimalusi (vt Tabel 19).

*Tabel 19 Maksimaalsed ja minimaalsed ööpäevased tootmis- ja tarbimismahud Eestis 2021. ja 2022. aastal, MWh*

	2021		2022 (5kuud)	
	Tarbimine	Tootmine	Tarbimine	Tootmine
<b>Maksimaalne</b>	1591	1444	1464	1638
<b>Minimaalne</b>	594	140	617	272

Allikas: Elering AS, uuringu autorite arvutus;

Suurte (võrgusuunaliste) salvestitega võib kaasneda vajadus tõsta võrgu läbilaskevõimet, millega on seotud võrguinvesteeringute vajadus. Väikesed salvestusüksused mõjuvad sellest aspektist lahtuvalt pigem vastupidiselt – soodustavad tootmise hajutamist ja vähendavad tipukoormuste perioodidel tarbimist ning vähendavad võrguinvesteeringute vajadust. Ka suur salvesti võib asuda suurtarbija(te) juures, millel on kõrge tiputarbimine ja võib aidata vältida vajadust tõsta elektriliinide läbilaskevõimet.

**Kliendipoolse** ehk väikesemahulise salvestamise – peamiselt päikeseelektri salvestamine kodumajapidamistes ja ettevõtetes ööpäevases tsüklis, kust võrku antakse vähe elektrit – riikliku toetamise põhjendused võivad olla järgmised:

- Taastuenergia kasutuse suurendamine (salvestus koos päikesepaneelidega).
- Võrgukoormuse ning sellega võrguinvesteeringute vajaduse vähendamine teatud kriitilistes piirkondades: näiteks täna Hiiumaal, kus uued liitumised ei ole võrgu ammendumise tõttu võimalikud.
- Salvestuse toetamine hoonete renoveerimisega ühtses pakendis, kus peamine eesmärk on siiski energiasääst – näiteks võib renoveerimisprojektile koos salvestuslahendusega (ja ka PV paneelidega) anda suurema määraga toetust (nt 50%).
- Toetada täiendavalt selliste elektriautode turule tulekut, mis võimaldavad elektrit ka võrku tagasi anda – ressursside parem kasutamine.

Väikelahendused on üldjuhul ühikmaksumuselt kallimad ja ei ole täna veel piisavalt kuluefektiivsed – kaaluda tuleks eelkõige võrguga mitte ühendatud tarbijate toetamist või piirkondi, kus on probleeme võrgu koormusega/parameetritega ning sellisel juhul võiks toetuse maksja olla näiteks võrguettevõtte, kes selgitab välja võimalike alternatiivide maksumused ja sobivused ning valib välja parima lahenduse.

<sup>46</sup> Ilma täpsematesse selgustesse laskumata.

Võrguettevõttel on aga keeruline klientide salvestitega ise paindlikkust juhtida – väikeakusid on vajalik selleks integreerida ja keskselt juhtida.

Akusalvestus saaks äriselt töötada kahel režiimil. Päikserohketel perioodidel salvestada PV paneelide toodangut, et kasutada maksimaalselt ära päikesepaneelide toodang majapidamise sees – nn väiksemahuline salvestamine. Pimedamatel aastaaegadel saab salvestada elektrit võrgust, siis kui hind on madalam ja eeldatavalt ka tarbimine ehk võrgukoormus väiksem<sup>47</sup> ning tarbida kõrgema hinnatasemega tundidel – nn suuremahuline salvestamine. .

Juhul kui väikeakud integreerida tarkvaraga ühe juhtimise alla, saaks nendega teoreetiliselt pakkuda ka tarbimise juhtimist ja süsteemiteenuseid vastavalt võrguoperaatori tellimusele. Integreeritud väikeakude tarbimise juhtimise potentsiaal võib olla märkimisväärne – näiteks Energiateekaardis (Rohetiiger, 2021) prognoositi nende kogumahuks 500MW aastaks 2040 (120MW 2030.a), mis tähendab märkimisväärset mahtu Eesti tarbimist arvestades (max ca 1500MW). Kui keskmiseks eramaja aku suuruseks hinnata 10kWh, siis 1h perioodi arvestades on võimsus 10kW. 500MW täitmiseks peab aku olema hinnanguliselt 50 000 üksikelamul või kortermajal (investeeringu suurus ca 375 MEUR koos käibemaksuga).

*Kliendipoolisel salvestamisel kasutusel olevad akulahendused kasutavad palju kriitilisi loodusressursse (erinevad metallid, vt*

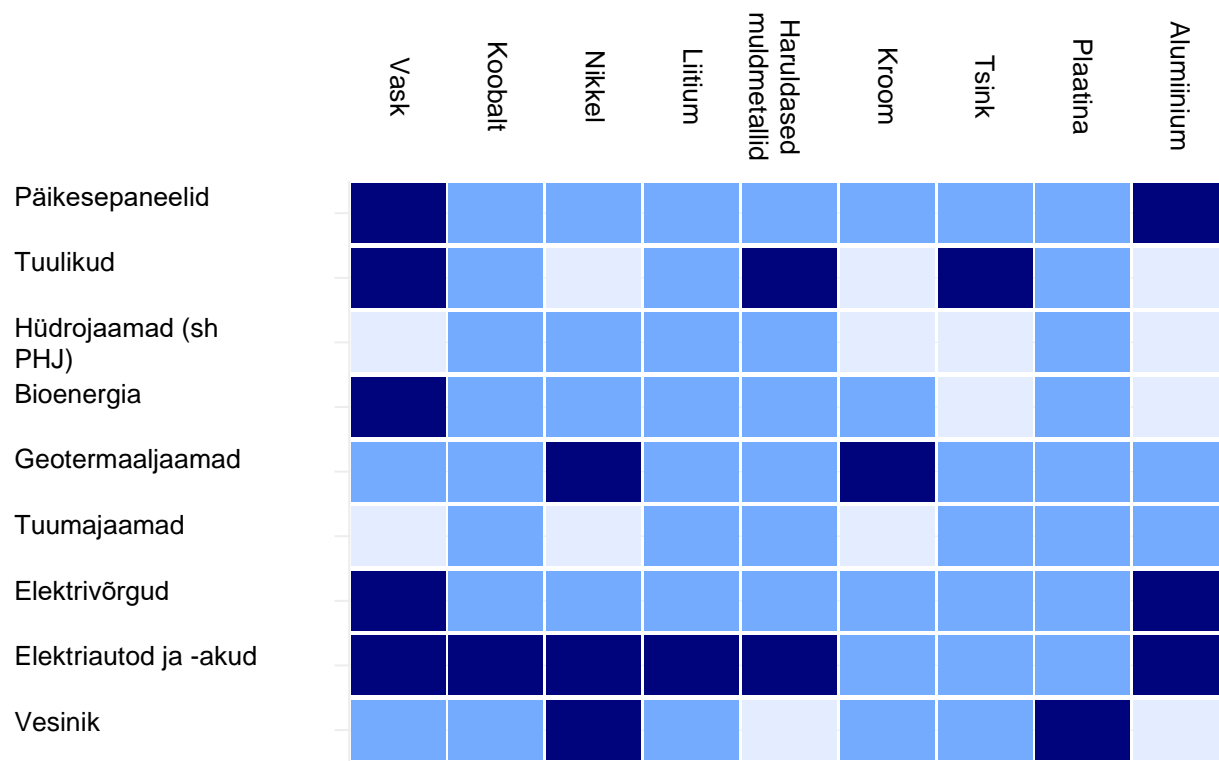
Joonis 7) ja tekitavad sellega üldjuhul ka suuremat jalajälge nii kliima kui ka elurikkuse seisukohalt. Jooniselt on näha hüdrojaamade, sh pumphüdrojaamade (ka tuumajaamade), suhteliselt väiksemat vajadust metallide järele ehk suuremat keskkonnasõbralikkust.

Lisaks on koondunud paljude kriitiliste metallide tootmine suurel määral Hiina Rahvavabariiki, mis tekitab täiendava julgeolekuriski.

---

<sup>47</sup> See ei pruugi küll nii olla, sest madala hinnataseme põhjuseks võib olla näiteks tuuleelektri suurem pakkumine ja vastupidi.

Joonis 7 Puhaste energiatehnoloogiate jaoks vajalikud metallid ja mineraalid (värvi tumedus näitab olulisust vastava tehnoloogia juures)



Allikas: Rahvusvaheline Energiaagentuur ja Einari Kisel (02.04.2022, Postimees)

Akulahenduste toetamist tuleb seega hoolikalt kaaluda, et mitte suurendada ülemäära nõudlust akude ja sellega seotud kriitiliste ressursside järele – akude kasutamine transpordis on ilmselt pöördumatu trend. Akulahenduste toetamisel on oluline, et lisaks tänasele liitiumakude kesksusele aidatakse turule tuua uusi lahendusi lähtudes muuhulgas ressursikasutuse ja salvestuse kestuse (liitiumakud salvestavad efektiivselt väga lühikeseks perioodiks) kriteeriumist.

## 4.2. Takistused energiaturul

Turumajanduses on lähte-eelduseks, et turg reguleerib seda, millised teenuseid turul pakutakse ning mis tingimustel neid pakutakse. Riiklikult toetatakse selliseid ühiskonna seisukohalt vajalikke teenuseid, mille turule toomise ees olevat tõrgete kõrvaldamiseks on vajalik riigi sekkumine.

Järgnevalt kirjeldatud salvestusturu arengu ees seisvate tõrgete võimalikke põhjused ning võimalikke meetmeid nende kõrvaldamiseks. Takistused on jagatud õiguslik-administratiivseteks ning majanduslikeks, kuigi tegelikkuses on tihtilugu nende vahele piiri tõmbamine keeruline ja jaotus seega teatud määral tinglik. Refereeritud on ka sihtrühma intervjuude ning kirjandusega tutvumise käigus kogutud informatsiooni ja ideid.

### 4.2.1. Õiguslik-administratiivsed takistused ja meetmed

Õiguslik-administratiivsete barjääride, mille tuvastamiseks oli abiks ka ekspertrühm (vt ptk 5.1) kirjeldused on toodud järgnevas tabelis.

Strateegilise vaate loomine/täiendamise vajadus	<p>Strateegilise tegevuskava kui sellise vajalikkuse osas oli seisukohti nii poolt kui vastu. Vastuargumendid olid seotud üldise skepsisega arengukavade vastu või väitega, et see (strateegiline) tasand on juba senistes dokumentides piisavalt käsitletud (ENMAK, REKK).</p> <p>Pooldajate arvates on vajalik strateegiliselt adresseerida küsimused, kuidas taastuenergia eesmärgi täitmiseks vajalik taastuenergia Eesti elektrisüsteemi turvaliselt integreeritakse – kui palju on selle jaoks vajalik täiendavaid võrguinvesteeringuid teha, kui palju tipuelektrijaamasid ning kui palju ja milliseid energiasalvesteid.</p> <p>Samuti saab strateegilises vaates adresseerida (defineerida, täiendada) eelnevalt välja toodud elektrisüsteemi üldiste eesmärkide teemat.</p> <p>Strateegiates saab ka kirjeldada tuleviku tarbimisgraafikuid, taastuenergia tootmismahтусid, sh millised mahud võiks olla seotud salvestusega, salvestustehnoloogiate parameetreid ning varustuskindluse nõudmisi ja väljakutseid elektrisüsteemile.</p> <p>Samuti tuleks läbi mõelda see, kuidas tõsta teadmisi, oskusi ja haridust energiasalvestuse valdkonnas – intervjuus toodi välja, et turul puudub täna salvestuse võimaluste osas piisav teadlikkus ning oskus hinnata neid võimalusi (nt tasuvust).</p> <p>REKKis on salvestust teatud määral juba käsitletud, mis on heaks lähtekohaks.</p>
Salvestus on defineerimata energeetika õigusruumis	Toodi välja, et Eestis puudus senini veel energiasalvestite mõiste elektrituruseaduses ning elektrisalvestite paigaldamine tähendas seni sisuliselt elektritootjaks asumist.

	<p>Tänaseks on elektrituruseadusesse salvestuse mõiste sisse viidud ja seega ka õiguslikult defineeritud (25.03.2022 kehtima hakanud redaktsioonis; vt eelkõige § 74<sup>16</sup> aga ka teistes paragrahvides<sup>48</sup>).</p>
<p>Elektri võrgutasude, taastuenergia tasude ja aktsiisi arvestuse alused ei ole potentsiaalsete investorite hinnangul põhjendatud</p>	<p>Analüüsi koostajate arusaama kohaselt ei ole turuosalised ühesel arusaamal selles, kuidas salvestatud elektrilt erinevaid tasusid ja makse arvestatakse (võrgutasud, taastuenergia tasud, aktsiis): kas neto- (nn kaoelektri) või brutotarbimise põhiselt.</p> <p><u>Võrgutasud</u></p> <p>Täna ei ole selgust ELTS §71(10) tõlgendamisel ehk sisuliselt ei ole potentsiaalsed salvestajad nõus tasude arvestamise alusega.</p> <p>§71(10) sätestab üksnes, et „salvestusperioodi vältel salvestatud elektrienergia elektrivõrku tagastamise eest käesoleva paragrahvi lõike 1 punkti 4 kohast edastamistasu ei rakendata“. Seega võib aru saada, et tasude aluseks on kogu sisse ostetud elekter, mitte nn kaoelekter (sissetuleva ja väljamineva vahe).</p> <p>Potentsiaalsed salvestajad (tänapäevased projektide arendajad) peavad aga õiglaseks ja põhjendatuks, et tasustamise aluseks on kaoelekter, kuna ülejäänud sisendelektri (= väljund) eest tasub võrgutasu elektri lõpptarbija. Salvestit võib siin käsitleda vahejaamana võrgusüsteemis ning salvesti liitumistasudega on salvestaja võrguettevõtja investeeringud juba katnud.</p> <p>Näiteks Konkurentsiameti spetsialistide arvamus oli, et kui ühe liitumispunkti taga on salvestusseadme tootmine ja tarbimine (ka kadu), siis peaks toimuma saldeerimine ja saldeeritud koguse eest taastuenergiatasu ja aktsiisi ei maksta.</p> <p>Eleringi poolt pakuti välja ka fikseeritud kuutasu alusel tasustamist. Salvesti omanikule oleks see ette teada püsikul, mis tuleks tagasi teenida ja on seda (suhteliselt) väiksem, mida rohkem salvesti töötab. Uuringu koostajate arvates peaks fikseeritud tasu olema kulupõhine, st katma Eleringi eeldatavad lisakulud salvesti administreerimisega võrguettevõtja poolt, kuid see tasu ei peaks sisaldama võrgutasu (täpsemalt edastustasu) komponente (nt võrgu kapitalikulu jms).</p> <p><u>Elektriaktsiis</u></p> <p>Tänase alkoholi -, tubaka-, kütuse- ja elektriaktsiisi seaduse (ATKEAS) kohaselt reguleerivad salvestisse laetud elektrienergia aktsiisiga maksustamist § 24 lg 6<sup>3</sup> kehtestatud üldreeglid, mille järgi võrgust elektrienergia tarbijale väljastamisel maksustatakse see aktsiisiga täismahus. Täis laaditud salvestusseadmest hiljem võrku</p>

<sup>48</sup> Vaata ELTS: § 3 p 8<sup>2</sup> ja p 8<sup>4</sup>, p 20<sup>1</sup>, p 22<sup>4</sup>; § 4 lg 4<sup>1</sup>; § 42 lg 4 p 8; § 65 lg 3<sup>1</sup>; § 71 lg 9 ja 10.

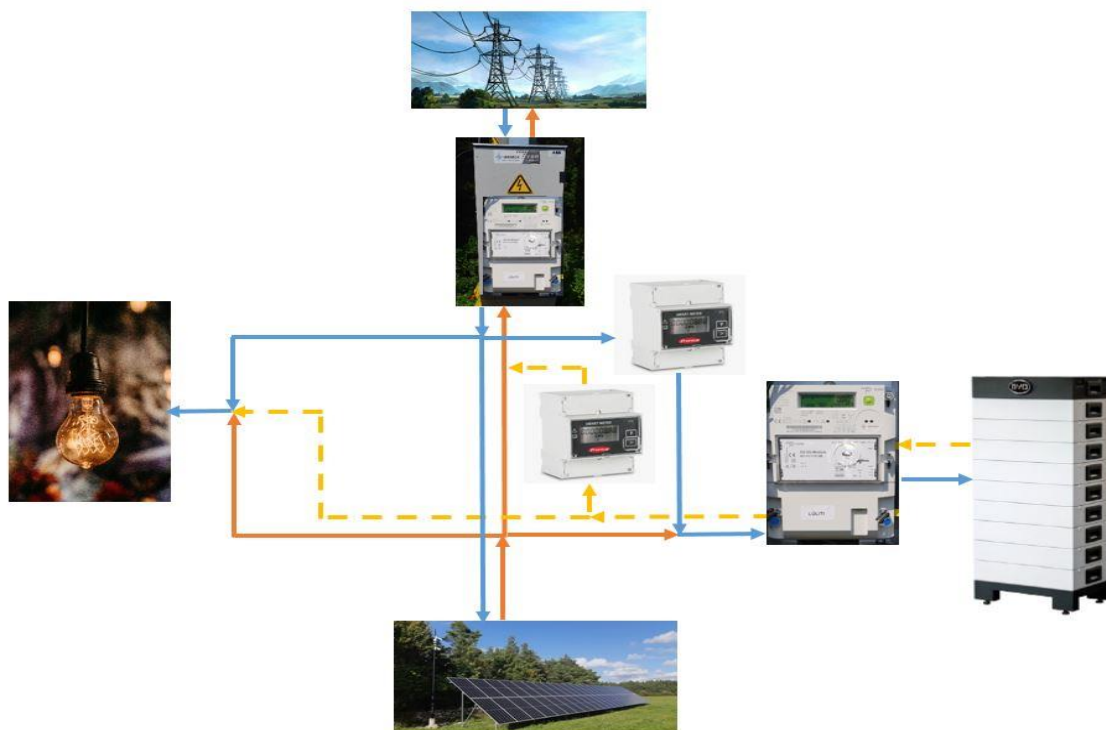
	<p>tagasi suunatavalt elektrilt varasemalt tasutud aktsiisi ei tagastata. Samuti ei eristata seda kogust ka võrguettevõtja poolt, mis võib kaasa tuua sellesama elektrikoguse hiljem uuesti maksustamise aktsiisiga (teistkordselt), kui see elektrienergia uuesti võrgust tarbijatele väljastatakse.</p>
<p>Standardite ja turureeglite süsteem vajad täiendamist</p>	<p>Toodi välja, et kui spetsiifilisi salvestuse standardeid kehtestatakse, siis peaksid need olema üle-euroopalised või veelgi laiemad. Seega on Eesti riigil siinjuures vähe võimalusi mõjutada.</p> <p>Mainiti ära järgmised salvestusega otsesemalt või kaudsemalt seotud teemad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ühtse lähenemise (standardi) vajadus akude juhtimise andmesidele (nõutavad protokollid, andmesidekvaliteet, andmete edastamise sagedus jm).</li> <li>○ Akulaadimise punktidel ei ole ühtseid standardeid – see on tootepõhine probleem, ka ühel tootjal võib olla erineva standardiga tooteid.</li> <li>○ Hoonete (eelkõige ärihoonetes) automaatikasüsteemid on tihtilugu erineva standardiga ning nende liidestamine (sh akuressursi kasutamiseks) on seetõttu keeruline. See lõikab ära teatud paindlikkuse ja ressursikasutuse efektiivsuse. Riik võib kaaluda automaatika-süsteemide uuendamise toetamist: uuendused ei pruugi olla väga kallid, kui võrrelda süsteemide uuesti ehitamisega, kuid võivad konkreetsele omanikule siiski olla mitte tasuvad.</li> <li>○ Oluline on luua tootestandardid sagedus- ja võrgupiirangute juhtimise toodetele. Salvestusseadmed koos tarbimise juhtimise- ja tootmisseadmetega saavad neid tooteid pakkuda (vt allpool süsteemiteenuste punkti).</li> <li>○ Nõuded uusehitistele (liginull- ja plussenergiahooned) ja ehitiste renoveerimisele – luua valmisolek teatud mahus salvestusvõimekuse (ja ka energiatootmise lahenduste) integreerimiseks. Seda võib soodustada nii nõuete kui ka stiimulitega (nt suurem toetuse määr renoveerimisel).</li> </ul>
<p>Probleemid elektrivoogude mõõtmisel</p>	<p>See teema haakub osaliselt standardite osaga – seos on akude juhtimise andmesidega. Eelkõige võrguoperaatoritel on tekkinud küsimusi salvestite elektrivoogude mõõtmisel.</p> <p>ELTS § 67 kehtestab võrguettevõtjale kohustuse tagada nõuetekohane mõõtesead ja korraldada mõõtmisi. Täpsemalt on soovitaks täpsemalt reguleerida küsimused:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kes kogutud andmeid kasutab ja mis eesmärgil neid kogutakse;</li> </ul>

- millise sagedusega tuleb andmeid koguda;
- kuidas toimub salvestatud energia mõõtmine isikutel kes on samal aja elektri tootjad, salvestajad ja tarbijad ning salvestavad ka võrgust võetud elektrit (vt
- Joonis 8);
- kuidas toimub mõõtmine elektrisõidukitel, mis annavad võrku elektrit tagasi;
- kui suurte salvestite energiavooge tuleb mõõta – kas määratakse miinimumsuurus ning kuidas toimida juhul kui väikeakud integreeritakse ühtsesse juhtimisplatvormi.

Samuti on probleeme teenuse osutajatel (agregeerijatel), kes integreerivad oma „akupanka“ palju väikeseid akuseadmeid, mis on mitmete tootjate omad: raskusi tekitab eri tootjate „*smart meter*“ seadmeid kauglugemisse integreerimine, et andmed koonduksid ühte andmebaasi ja oleks võimalik ühtne juhtimine.

Viimasel juhul on tegemist tehnilise küsimusega, millele Eesti riigil üksinda on ilmselt vähe võimalusi reageerida.

Joonis 8 Elektri tootmise, salvestamise ja tarbimise süsteem ühe liituspunkti taga





<p>Puuduvad elektri süsteemiteenuste turureeglid</p>	<p>Täna ei ole veel täpselt teada Baltikumi süsteemiteenuste turu tehnilised nõuded. Kuna see turg hakkab tegutsema aastast 2025, siis võib tunduda, et aega on veel piisavalt, kuid näiteks pumphüdrojaama ehitamine kestab mitu aastat – seega tuleks turu reeglid võimalikult kiiresti ette valmistada. Teadaolevalt töötabki Elering turureeglid välja 2022. aasta jooksul.</p> <p>Kuna salvestajate äriplaan toetub ka süsteemiteenustele, siis on turureeglite paika panemine projektide alustamiseks ning finantseerimise kaasamiseks hädavajalik. Akupankade planeerijad saaksid siis veenduda, et nende seadmed vastavad süsteemihalduri nõuetele ja nendega saab teenuseid pakkuda</p> <p>Salvestus saab suure tõenäosusega juba praegu mFRR teenust pakkuda, aFRR teenuse turgu (Baltikumis) veel pole.</p> <p>Võimalik toodete pakett elektriturul võiks olla oluliselt laiem, kui on plaanis. Näitena toodi välja Suurbritannia, kus toimib 7 erinevat elektriturgu (nt erinevate ajakriteeriumite järgi – alates sekunditurust!) ja sagedusteenuste turul on 12 erinevat toodet, mis annab turuosalistele (sh salvestajatele) tulu teenimiseks rohkem võimalusi<sup>49</sup>.</p>
<p>Raskused taotluste esitamisel ja saamisel salvestusvõimsuste rajamiseks</p>	<p>Spetsiifilisi salvestitega seotud planeeringute ja tegevuslubade probleeme turuosalistel välja ei toonud. Suurte (võrgusuunaliste) salvestite arv Eesti turul saab tõenäoliselt olema väike ning spetsiifiliste taotluste menetlemise süsteemi loomine pole ilmselt otstarbekas.</p> <p>Võrguga liitumisel kehtivad salvestusseadmetele sarnased nõuded nagu tootmismoodulitele ja/või HVDC konvertersüsteemidele<sup>50</sup>. Samuti on salvestusseadmete liitumisel vajalik piisav võrgu läbilaskevõime nagu tavapärase tootmise- ja tarbimissuunalise uue liitja liitmisel ja juhul kui salvestusseade töötab liinide koormuse vähendamise suunas.</p> <p>Toodi välja, et soodustada tuleks akude paigaldamist kodumajapidamiste juurde kohtades, kus vastasel korral tuleks teha kalleid võrguinvesteeringuid (nt Hiiumaa)<sup>51</sup> või kõrge ajutise tipuvõimsusega majapidamistes (nt elektriautode omanikud).</p>

<sup>49</sup> Põhjalikuma ülevaate saab näiteks ka UK ja Austraalia turgude analüüsides: [www.energy-uk.org.uk/publication.html?task=file.download&id=6138](http://www.energy-uk.org.uk/publication.html?task=file.download&id=6138) ja <https://aemo.com.au/-/media/files/electricity/wem/data/system-management-reports/2020-ancillary-services-report.pdf?la=en>

<sup>50</sup> Lihtsustatud tingimused on alla 15 kW võimsusega taastuvat energiaallikat tootmiseks kasutatavate tootmiseseadmete ühendamiseks võrguga. Lihtsustatud nõuded Konkurentsiametile teavitamise (ELTS §19), juriidilise isiku ja omakapitali suuruse osas on alla 1MW netovõimsusega tootmiseseadmetele (ELTS § 15). Samuti ei pea sellise seadmega tootjal olema tegevusluba (ELTS §22). Kui tootmiseseadme netovõimsus ületab 5 MW, kinnitab tootmiseseadme nõuetekohasust süsteemihaldur (ELTS §55).

<sup>51</sup> Arvestades ka erinevate lahenduste (salvestus vrs võrguinvesteering) tasuvusega.

	<p>Lubade süsteemi uuendati ELTSi muutmise käigus seoses EL direktiivi ülevõtmisega. Taotluste süsteem on täna ummistunud seoses suure arvu tootjate liitumissoovidega (haldusvõimekuse küsimus).</p> <p>Lubade ja taotluste süsteem tuleks üldiselt üle vaadata ning jõuda selleni, et:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ka salvestusettevõtete jaoks oleks võrguga liitumise ja tegevusloa taotlemise protsess võimalikult lihtne, (piirkonniti) ühtlane ning võimalikult kiire.</li> <li>• Lubade andmise juhised oleksid selged nii haldusasutustele kui ka projektide arendajatele.</li> <li>• Salvestusvõimsuste loomine oleks võimalik selleks kõige sobivamates kohtades, näiteks tarbimise ja/või tootmise lähedal.</li> <li>• Taotluse esitamisest vastuseni ei tohiks kuluda rohkem kui 30 tööpäeva. Hetkel ei suuda võrguettevõtjad mõistliku aja jooksul isegi 10kW suuruseid liitumistaotlusi menetleda. Selline haldussuutmatus pärsib majandusarengut.</li> </ul>
<p>Koormavad katsed võrguga liitumiseks</p>	<p>Toodi välja, et võrguga liitumisel nõutav pingelohu katse salvesti lisamisel olemasolevasse süsteemi (nt CHP) võib süsteemis olevaid seadmeid kahjustada ja/või nende eluiga väheneda. Seetõttu võib teatud salvestuse potentsiaal jääda realiseerimata.</p> <p>Ettepanek on turuosalistega ühiselt üle vaadata liitumisnõuded ja võimaluse korral takistused kõrvaldada. On siiski selge, et võrguga ei saa liituda seade, mis sinna ei sobi ja seda kahjustab.</p> <p>Rohkem administratiivseid probleeme elektrivõrguga liitumisega seoses intervjueeritavad välja ei toonud.</p>
<p>Soovitakse soojussalvestite käsitlemist jaotusvõrgu osana ning soojuse hinnaregulatsioon ei motiveeri investeerima</p>	<p>Soojussalvestite võimalikud paigaldajad on huvitatud, et salvestit käsitletakse kui võrgu, mitte kui tootmiseseadme osa. Konkurentsiamet on siin vastupidisel seisukohal.</p> <p>Üldise puudusena hinnaregulatsioonis toodi välja asjaolu, et soojuse tootjatel on vähene motivatsioon innovatsiooniks – mis aitaksid näiteks kliima- ja energiasäästu eesmäärke saavutada – kuna saavutatud kulude kokkuhoid võetakse neilt ära (müüdnud energia hinna languse kaudu).</p> <p>Soojussalvestite võimalikud paigaldajad näevad, et salvestite käsitlemine võrgu osana oleks konkreetselt salvestite osas antud juhul lahenduseks. Mahuteid saaks vaadelda kui võrguvee avariimahutit, milles hoitakse „kuuma reservi“ varustuskindluse tagamiseks.</p>

Aruteludest ei selgunud kas ja millisel viisil oleks vajalik muuta järgmisi elektrisüsteemi ja -turu komponente, et need oleksid paremini vastavad elektri salvestuse teenusele:

- NordPooli toimimise muutmise vajadus ei ilmnenud. Salvestusseade saab turul ka praegu osaleda, vaja on bilansihaldurit (või olla ise bilansihaldur) ja sõlmida vastavad lepingud NordPooliga.
- Elektri ostulepingute (PPAde) sõlmimine on turupõhine ja pole täna reguleeritud. Põhimõtteliselt peaks salvestuse pakkuja läbi bilansihaldurite/elektrimüüjate (salvestuse pakkuja võib ka ise selle rolli võtta või endale vastava teenuse edastaja hankida) saama PPAid sõlmida, kuigi salvestuse eripäradest tingituna on see tehniliselt keeruline.

Salvestusteenuse jaoks on oluline juhitamatu taastuenergia tootmise areng ja kasv. Eelnevalt ja ka järgnevas majanduslike takistuste osas ei tooda välja taastuenergia arengut takistavad asjaolud, kuna see on mõnevõrra eraldiseisev ja väga ulatuslik teema, milleks on ka riiklikult erinevaid uuringuid tellitud.

Samuti ei ole spetsiifiliselt süvenetud vesiniku temaatikasse, mida võib samuti vaadelda kui energia salvestamist. Vesiniku teemal on Civitta Eesti AS ja Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna Keskus ja Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudi poolt 2021. aastal koostatud vastav analüüs<sup>52</sup>.

#### 4.2.2. Majanduslikud takistused

Probleemid väikesalvestite integreerimis- ja juhtimisplatvormi(de) arendamisel	<p>Salvestusressursi (eelkõige väikesalvestite) paremaks ärakasutamiseks (tarbimise juhtimiseks, võimsusteenus jm) on oluline vastava(te) juhtimisplatvormi(de) olemasolu. Kui turul ei ole veel piisavalt salvestusmahtu<sup>53</sup>, on platvormi tasuvusaeg pikk ja ebakindlus suur. Samas võib sellise platvormi (agregaatori) tekkimine, lisaks salvestusressursi paremale ärakasutamisele, anda omapoolse tõe energiasalvestuse arengule.</p> <p>Tavapäraste salvestamiseks mõeldud väikeakude kõrval võib süsteem haarata ka elektriautode liitiumioonakud. Täna võimaldab nendest enamuse küll vaid ühesuunalist laadimist, kuid leidub ka sõidukeid (nt Nissan Leaf), millel on juba kahe-suunalised ehk nn V2G laadimist võimaldavad süsteemid.</p> <p>Samuti oleks potentsiaalselt võimalik (tarbimise juhtimiseks) süsteemi liita soojuspumbad, millel on akumulatsioonipaagid ning seega võimalus tarbimist juhtida<sup>54</sup>.</p> <p>Selle ressursi kasutuselevõtmine elektrivõrgu ja -süsteemi huvides eeldab nutika juhtplatvormi olemasolu. Vastavad arendused on töös (nt Fusebox OÜ), kuid salvestite turul ei ole</p>
--	---

<sup>52</sup> Eesti vesinikuressursside kasutamise analüüs;

<sup>53</sup> Näiteks mFRR turul on turuosalistel miinimumnõue 1MW. Turuosalistes hindavad, et tasuvuspiir võiks olla 10MW suuruse salvestusmahu juures, kuid see sõltub palju konkreetsest turuolukorrast (nii arbitraaži kui ka süsteemiteenuste turgudel toimuvast).

<sup>54</sup> Selliseid lahendusi pakub näiteks Rootsi ettevõtte Nibe – soojuspumba akupaak on köetav ka päikesega.

	<p>veel piisavalt mahtu ja arendused on seotud oluliste riskidega, mida võiks riigi abiga maandada (nt investeringutoetuse abil).</p> <p>Riigil on siin võimalik võtta nn turu tõukaja roll st aidata turule tulla (nt investeringutoetuse kaudu) integreerimise platvormi(de)<sup>55</sup>, mille kaudu antakse omakorda tuge salvestite tulekule ning luuakse olemasolevatele salvestitele parem tulu teenimise võimalus.</p>
<p>Vajadus rajada ja/või tugevdada suurte salvestite liitmiseks võrku</p>	<p>Suurte salvestite asukohtades võib tekkida märkimisväärne elektrivõrgu (põhivõrgu) tugevdamise vajadus. Samas teatud asukohtades, kus salvesti ja elektri tootmisüksused asuvad üksteise lähedal, võiks koordineerida elektri tootmist ja salvestamist, kuna salvestaja ja tootja võivad võrku vajada erinevatel aegadel – nt salvesti annab võrku elektrit siis, kui päikese- või tuulepark ei tööta<sup>56</sup>.</p> <p>Võrguettevõtte peab sellistel juhtudel igaks juhuks tagama läbilaskevõimsuse arvestades kõikide turuosaliste maksimumvajadustega antud piirkonnas, kuid teatud investeringutest (kuludest) võib koordineerimise korral loobuda.</p>

---

<sup>55</sup> Konkurentsi seisukohalt oleks vajalik mitme platvormi tegutsemine Eesti (või Baltikumi) turul.

<sup>56</sup> Sellist võimalust saab kaaluda ka Paldiski PHJ rajamisel, kuna jaama ligiduses tuulepargid.

Ebavõrdse konkurentsi oht	<p>Ohuks võivad näiteks olla riikliku süsteemihalduri või võrguoperaatori poolt rajatud või avaliku sektori toetuste abil rajatud salvestid. Riigi või riigiettevõtete hallatavad süsteemid võtavad ära teatud turuosa, ei pruugi hinnata turul olevaid riske sarnaselt erasektoriga ning vähendavad võimalusi kaasata erasektori projektidesse finantseerimist ehk tekitavad turule suurema ebakindluse.</p> <p>Eesti Energia tõi näitena välja Leedu võrguoperaatori (TSO) poolt rajatav ja ELi toetuse abil finantseeritud salvesti (200MW). Ka Lätis plaanib riiklik võrguoperaator akupanga rajamist (80MW), eesmärgiga pakkuda süsteemiteenuseid.</p> <p>Eesti Konkurentsiameti spetsialistide hinnangul on sellised investeeringud vastuolus vastava Euroopa Liidu direktiiviga.</p> <p>Teadaolevalt plaanib Leedu TSO pärast ülekandevõrgu desünkroniseerimist siiski erasektorile müüa, Läti kohta vastav informatsioon puudub.</p> <p>Elektrituruseaduse (ELTS) viimase redaktsiooni (25.03.2022; § 74<sup>16</sup>(1)) järgi ei tohi Eesti võrguettevõtja omada, arendada, käitada ega hallata energiasalvestusüksust, kuid sellel sättel on ka erandeid (§ 74<sup>16</sup>(3)).</p> <p>ELTS § 66<sup>2</sup>(2) kohaselt tuleb võrguettevõtjal (jaotusvõrk) paindlikkusteenuse ostmiseks korraldada riigihange. Protsessi jälgib Konkurentsiamet.</p>
Elektrituru hinnakõikumistega seotud ebakindlus – finantseerimise keerukus	<p>Osapoolte hinnangul ei ole senini olnud õine ja päevane elektrihindade erinevus piisav, et õigustada energiasalvestusüksuste rajamist selleks, et neid elektrituru vastu opereerida.</p> <p>Taastuvenergia koguste suurenemine võrgus suurendab hinnakõikumisi ja muudab investeeringud eeldatavalt tasuvaks.</p> <p>See ebakindlus raskendab eelkõige laenuraha kaasamist projektidesse. Sobivaimaks meetmeks selle takistuse kõrvaldamiseks pakuti riigipoolse <b>garantii</b> andmist arendajatele<sup>57</sup>.</p> <p>Garantii juures on mitmed küsimused, mida tuleb adresseerida<sup>58</sup>:</p>

<sup>57</sup> Garantii võib struktureerida ka nõ vastastikuseks - kui ostu-müügi vahemik on teatud väärtusest suurem, siis salvesti maksab teatud summa riigile.

<sup>58</sup> Vt pakutud lahendust ptk 4.3.2.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kuidas määrata vajalik ostu- ja müügihinna vahemik, millest alates garantii rakendub? Sealhulgas arvestades ka erinevate sisseostu hindade mõjuga (st mida kõrgem on sisseostuhind, seda suurem peab olema vahe).</li> <li>• Mitmele salvesti töötunnile (aastas) garantii kehtib ning kuidas konkreetsed tunnid määratakse (nt kvartali- või aastapõhise NORDPOOL EE hinnastatistika alusel)?</li> <li>• Kuidas arvestada teiste teenuste (süsteemiteenused, päevasisene kauplemine), lisaks päev ette kauplemisele, mõju garantii tingimustele.</li> <li>• Kas garantii võiks sisaldada riigile ka võimalikku tulusaamise võimalust (teatud marginaalist alates)?</li> <li>• Millised projektid/tehnoloogiad vastavad garantii saamise nõuetele?</li> </ul> <p>Lihtsam alternatiiv on anda <b>investeeringutoetust</b>, mis tähendaks riigile kindlat kulu. Sellisel juhul peaks toetus olema piisavalt kõrge, et koos arendaja omafinantseeringuga kõrvaldada takistused projektidesse laenukapitali kaasamisel.</p> <p>Toetuse põhjenduseks on võimalikest madalamatest elektrihindadest tekkiva ühiskondliku hüve argument: kuna salvesti täidab tipukoormuselektrijaama rolli, mis vähendab kõrgeid hinnatippe ning eeldatavasti ka keskmist elektri hinda.</p>
<p>Raskused Eesti oludesse sobivate tehnoloogiate ja võimaluste tuvastamise ja kasutuselevõtuga</p>	<p>Näiteks toodi välja võimalus võtta suletavad elektrijaamade plokid kasutusele elektrotermilise või elektrokeemilise salvestina. See võimaldaks pakkuda elektriturule hooajalist reservi ning omaks ka teatavat märgilist sõnumit rohepöörde läbiviimisele.</p> <p>Eesti Energia uurib ka võimalusi kaevanduskäikude kasutuselevõtuks salvestitena.</p> <p>Selliseid spetsiifilisi võimalusi võib veelgi eksisteerida, kuid nende realiseerimine võib Eesti ettevõtetele olla üle jõu käiv, eriti varajases arendusfaasis.</p> <p>Seega võib riik kaaluda erinevate projektide toetamist, mis soodustaks kohaliku ressursi ärakasutamist, teadmussiiret ja taastuvenergeetika arengut. ELi taastusrahastu raames on juba olemas salvestuse pilootprojektide programm.</p>

Teatud akutehnoloogiate finantseerimise keerukus	<p>Toodi välja, et täna finantseerivad pangad ainult liitiumakude projekte, kuna teistel lahendustel ei ole tehnoloogiline valmisolek veel piisaval tasemel. Samas on riskide hajutamine erinevate akutehnoloogiate vahel oluline – näiteks ressursikasutuse seisukohalt – ning seetõttu võib kaaluda riiklikku toetust uuematele tehnoloogiatele, pannes selleks paika vajalikud kriteeriumid (tehnoloogia valmisolek, ressursside (nt metallid) intensiivsus, salvestusaeg jm).</p> <p>Toetusmeetmete juures (ptk 4.3.2) on vooluakude toetamise võimalusena nimetatud pilootprojektide toetamist ja initsieerimist.</p>
Raskused informatsiooni ja oskusteabe kättesaamisel	<p>Näitena toodi välja puudulikud oskused salvestuslahenduste tasuvusarvtuste läbiviimiseks, mistõttu võib tegelikult sobivaim lahendus (nt kus süsteemi osa on ka salvestusseade) rakendamata jääda.</p> <p>Oluline on seega kompetentsi tekitamine (nt TalTechi juhtimisel) ning kättesaadavaks tegemine. Teabe levitamise ja kättesaadavuse parandamiseks võib olla vajalik vastavate nõustamisüksuste loomine kas riiklikult (nt Kredexi või KIKi kaudu) või koostöös KOVidega, mille ülesandeks oleks laiemalt energiaalane nõustamine taastuvenergiale ülemineku ja energiasäästu suurendamise protsessis (KOVid juba koostavad energiakavu).</p> <p>Salvestuse võimalustega seotud teadmiste ja teadlikkuse tõstmist on vaja laiemalt, ka arhitektide ja ehitajate tasandil jm.</p>
Salvestustehnoloogiate maksumus	

### 4.3. Meetmed ja tegevuskava

Järgnevas kahes alapeatükis on kirjeldatud ettepanekuid meetmete osas, mida võiks rakendada Eesti salvestusturu arendamiseks. Eristatud on õiguslik-administratiivseid ja rahalisi meetmeid, kuna nende meetmete iseloom ja raamistik kirjeldamiseks on mõnevõrra erinev. Iga meetme juures on toodud ära ka võimalik ajaraam ja käsitlemiskoht – regulatsioonid kus käsitletak ja institutsioonid kes tegelevad.

#### 4.3.1. Õiguslik-administratiivsed meetmed

Käesoleva peatüki tegevuskavas sisalduvaid tegevusi saab samuti nimetada meetmeteks. Järgnevas peatükis (**Tõrge! Ei leia viiteallikat.**) toodud konkreetsete tehnoloogiatega seotud toetusmeetmetest erinevad tegevuskava meetmed selle poolest, et viimased on üldisemad, turule raamistiku loomiseks.

Eelneva põhjal saab välja pakkuda tegevused (või tegevussuunad) salvestusturu arengu kiirendamiseks Eestis. Need oleksid järgnevad:

1. Strateegilise vaate kujundamine/täiendamine.
2. Teenuste (eelkõige süsteemiteenused) kaardistamine.





- Lähema näitena mainiti ka Soomet<sup>60</sup>, lisaks toovad uuringu teostajad välja Austraalia, mille kohta on allpool toodud ka viidatud dokument.
- Baltikumi süsteemihaldurid on seoses desünkroniseerimisega Venemaast turule toomas sagedusjuhtimise teenuseid: FCR, aFRR<sup>61</sup> ja mFRR<sup>62</sup>.
  - Turule saaks potentsiaalselt tuua aga teisigi teenuseid, mis aitaksid kaasa ka salvestusteenuse pakkumisele. Konkreetsed teenused Baltikumi turule peaksid aga välja pakkuma Baltikumi süsteemi- ja võrguhaldurid, arvestades süsteemi vajadusi, võimalikke turumahte ning muid kohaliku turu eripärasid.
  - Mõningad näited võimalikest täiendavatest teenustest on:
    - Nullist käivitamine – elektrivarustuse väljalülitumine on väga väikese tõenäosusega sündmus (teadaolevalt Lätis ja Leedus toimus see viimati 1984.a) ning selle turutooteks muutmine on seega keeruline, kuid seda on tehtud suurematel turgudel nt (UK, Austraalia).
    - Pöörleva ja mittepöörleva reservi tagamine – kasutatakse ettenägematute sündmuste reservidena, et peatada sageduse muutus tootmise või nõudluse planeerimata katkestuse korral.
    - Pingetugi – nn nõrkade võrkude sagedustugi, et tagada võrgu sünkroonsus ja toimimine.
    - Reaktiivvõimsuste kompenseerimine – nii TSO kui ka DSO reaktiivenergia vähendamine.
  - Laiem ring teenuseid, millesse salvestus saab panustada on tuletatav Tabel 3 toodud loetelust ja teiste elektrisüsteemide näidetest<sup>63</sup>.
  - Baltikumi süsteemi- ja võrguhalduritel tuleb välja selgitada võimalikel lisatooted (lisaks eelmises punktis toodule), arvestades vajadust nende järele ja võimekust nende osutamiseks Baltikumis (või ka laiemalt), ning neile turureeglid välja töötada.

### **Käsitlemiskoht**

Elektrituru teenuste arendamisel teevad koostööd Balti riikide süsteemihaldurid, kaasates huvitatud osapooli ning kasutades teiste riikide kogemust (nt Suurbritannia, Soome). Turul võiks olla mitmeid erinevaid süsteemiteenuseid, nende seisukohalt on oluliseks sündmuseks sünkroniseerimine Mandri-Euroopaga.

---

<sup>60</sup> Vt nt [https://www.fingrid.fi/en/electricity-market/reserves\\_and\\_balancing/](https://www.fingrid.fi/en/electricity-market/reserves_and_balancing/)

<sup>61</sup> Eleringi osaluselt on käimas pilootprojekt Eesti ja Soome vahel. Balti riikides veel aFRR ei kasutata, küll aga Soomes.

<sup>62</sup> mFRR teenust ostavad Balti süsteemihaldurid juba täna eabilansi katmiseks.

<sup>63</sup> Põhjalikuma ülevaate saab näiteks ka UK ja Austraalia turgude analüüsides: [www.energy-uk.org.uk/publication.html?task=file.download&id=6138](http://www.energy-uk.org.uk/publication.html?task=file.download&id=6138) ja <https://aemo.com.au/-/media/files/electricity/wem/data/system-management-reports/2020-ancillary-services-report.pdf?la=en>

Tänaseks on Baltikumi süsteemihaldurid välja töötanud sagedusjuhtimise kontseptsioonidokumendi<sup>64</sup> ning süsteemihaldurid plaanivad alustada reservvõimsuste eelkvalifitseerimisega 2022.a teises kvartalis.

### Ajaraamid

**2022** (lõpp) – täiendavad teenused on süsteemihaldurite poolt kaardistatud.

Kuna täna Baltikumis süsteemiteenuste turgu sisuliselt (va mFRR teenus) veel ei ole ja desünkroniseerimine Venemaa elektrisüsteemist toimub mõne aasta pärast, siis võib olla käesoleval ajal kõigi potentsiaalsete teenuste tuvastamine olla veel keeruline ehk lõplikku nimekirja ei saa kindlasti lukustada.

### Tegevus 3

Töötatakse välja teenuste, mille vajadus Baltikumi turul on tuvastatud, **туру toimimise reeglid ja tootestandardid** jm vajalikud standardid. Tegevus 3 on sisuliselt jätkuks eelmisele tegevusele.

#### Tegevused / suunised

- Süsteemiteenuste osas on oluliseks tähtajaks 2026.a algus, kui toimub sünkroniseerimine Mandri-Euroopa elektrisüsteemiga. Süsteemiteenuste turureeglid peaksid valmis olema piisavalt vara enne seda tähtaega, et turuosalised saaksid ära teha vajalikud ettevalmistused – Elering ja teised Balti süsteemioperaatorid töötavad teatud toodete (FCR, mFRR, aFRR) nõuded eeldatavalt välja käesoleva (2022) aasta lõpuks.
- Eesmärk on töötada välja turureeglid põhimõttel, et kõik või võimalikult palju turuosalisi ja tehnoloogiaid (sh salvestus) saaksid osaleda teenuste pakkumisel (st konkurentsiga turud) sh tagatakse võrdsed konkureerimise võimalused erinevatele tehnoloogiatele<sup>65</sup>.
- Eesmärk on, et välja töötatud turureeglid oleksid selged ja arusaadavad (ing.k. transparent), mis lihtsustab teenuste pakujatel turul osalemist.
- Peatükis 4.2.1 on toodud näiteid mõningatest standarditest, mis võiksid kaasa aidata salvestuse turu arengule:
  - Nõuded akude juhtimise andmesidele ja arvestitele väikeakude integreerimiseks (nõutavad protokollid, andmesidekvaliteet, andmete edastamise sagedus jms).
  - Akulaadimise punktide standardite ühtlustamine.
  - Parandada hoonete automaatikasüsteemide sobivust liidestamiseks.

<sup>64</sup> <https://elering.ee/sites/default/files/2021-01/Baltic%20Load-Frequency%20Control%20concept%20document.pdf>

<sup>65</sup> Näiteks, kas täna seatud 1MW piirmäär mFRR turul osalemiseks on Baltikumi turul põhjendatud või saaks seda allapoole langetada.

- Nõuded uutele ja renoveeritud hoonetele, tagamaks nende valmisoleku salvestusvõimekuse ja energiatootmise lahenduste integreerimiseks.
- Akulaadimise punktidele on EL kehtestanud ühtse pistikupesa tüübi nõude (nn tüüp 2). Akudele ja patareidele on Euroopas kehtestatud nõuded seoses ohutuse (sh paigaldamisega) ning ohtlike ainete sisaldusega. ELis kehtivad ka nõuded ühendusse imporditavatele akudele, millest importijad peavad juhinduma.
- Eelnevad nõuded ei puuduta siiski andmeside standardeid, mis aitaksid erinevaid süsteeme integreerida ning keskselt juhtida ning nimetatud teemad ei ole täna uuringu teostajatele teadaolevalt ka standardiseerimis- ja akrediteerimiskeskuse (EVS) tööplaanis (sobivaim tehniline komitee võiks olla EVS/TK nr 58 „Tarkvõrk“). Reeglina osalevad EVSi komiteed standardiloomes, kui vastav initsiatiiv peaks Euroopas tekkima.

### **Käsitlemiskoht**

Võimalike süsteemiteenuste reeglite ja turu loomisega peaksid Eestis tegelema MKM, süsteemihaldur ja võrguoperaatorid, kaasates vajadusel Konkurentsiametit, turuosalisi ja eksperte ning tehes koostööd Baltikumi sees või ka laiemalt. Andmeside osas saab kaasata ka Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Ameti.

Käsitlemiskohaks on süsteemihalduri ja/või võrguoperaatori poolt koostatud ja regulaatori (Eestis Konkurentsiamet) poolt kinnitatud teenuste spetsifikatsioonid<sup>66</sup>.

Ühtse andmeside standardi loomise vajaduse saavad välja selgitada turuosalisel koostöös EVSi ja TalTech'iga ning vajadusel algatada vastava initsiatiivi ELis. Senini tuleb integreerimisplatvormide loojatel kohandada oma programmid erinevate kasutuses olevate lahendustega.

### **Ajaraamid**

**2024** (esimene pool) – esimeses ringis tuvastatud täiendavatele teenustele on turureeglid (Baltikumi) süsteemihaldurite või ka võrguoperaatorite (st teenuse ostjate) poolt välja töötatud. Töö jätkub, kui tuuakse turule uusi teenuseid.

### **Tegevus 4**

#### **Tegevused / suunised**

Tegeletakse **konkurentsipiirangute ja turumoonutuste** kõrvaldamisega.

- Konkurentsimoontuste osas viidati intervjuude käigus näitena Läti ja Leedu süsteemihaldurite poolt rajatavatele salvestusvõimsustele – teotustega rajatud ja süsteemihalduri omandis olevate lahendustega on süsteemiteenuste turul keeruline konkureerida – võimalikud erinevad

<sup>66</sup> Näiteks tänase mFRR turu reeglid:

<https://elering.ee/sites/default/files/public/Teenused/Bilansiteenus/Annex%2010%20Baltic%20Balancing%20Market%20Rules%2020211221.pdf>

riskihinnangud, finantseerimine muutub keerukamaks/kallimaks. Eesti valitsusel on võimalus Läti ja Leedu riigile võimalikele probleemidele ja vastuoludele tähelepanu juhtida.

- Eesti on Konkurentsiametilt saadud info kohaselt omalt poolt ratifitseerinud ELi direktiivi, mis piirab konkurentsi pakkumist süsteemihaldurite ja võrguoperaatorite poolt; samuti on vastavad sätted sisse viidud ELTSi. Konkurentsiamet tegeleb selles osas järelevalvega.
- Teatud probleemina näevad erasektori turuosalisel riigile kuuluva Eesti Energia grupi (EE) tegutsemist (peamiselt) elektriturul – kardetakse, et EE otsused ei ole alati majanduslikult põhjendatud ehk ettevõtte ei hinda projektidega kaasnevat riski sarnaselt erasektorile, mis muudab erasektori poolse konkureerimise keeruliseks ning raskendab projektide rahastamist.
- Eelnevas punktis toodud probleemi osas on siiski keeruline konkreetseid lahendusi välja tuua, kuna EE on eraõiguslik äriühing, mille juhtkond peab tegutsema ettevõtte parimates huvides. Samuti on oluline tütarettevõtte (Enefit Green) ka börsil noteeritud. Otsestele konkurentsireeglite rikkumisele peab reageerima Konkurentsiamet.

#### **Käsitlemiskoht**

Nimetatud teemaga peaksid Eestis tegelema eelkõige MKM ja Konkurentsiamet, kaasates vajadusel turuosalisi ja eksperte.

#### **Ajaraamid**

**2024** – turu reeglid ja -toimimine on Konkurentsiameti ja MKMi poolt üle vaadatud ning vajadusel tegevused ellu viidud (reeglite täiendamine, moonutustele reageeritud).

#### **Tegevus 5**

Võrguettevõtjad vaatavad üle salvestite **võrku ühendamise kriteeriumid ja protseduurid**.

#### **Tegevused / suunised**

- Võrguga liitumisel kehtivad salvestusseadmetele sarnased nõuded, mis kehtivad elektri tootmiseseadmetele. Spetsiifilisi salvestitega seotud planeeringute ja tegevuslubade probleeme turuosalisel välja ei toonud.
- Oluline on teha protseduuridega pidevalt tööd, muutes need põhjendatult lihtsaks ning liitumised kiireks – protseduurid ning seadused tähtsajad, kui pikk peab olema periood taotluse esitamisest vastuseni (nt 30 päeva).
- Vaadatakse üle võrguga liitumisel läbiviidavate katsete (nt pingelohuga seotud) süsteem ning võimalusel muudetakse see asjaosalistele vähem koormavaks (vt ka ptk 4.2.1 „Koormavad katsed võrguga liitumiseks“).

#### **Käsitlemiskoht**

Võrguoperaatorid koostöös turuosalistega.

#### **Ajaraamid**

**2023** – salvestite võrku ühendamise reeglid üle vaadatud ning vajadusel uuendatud.

## Tegevus 6

### Tegevused / suunised

Vaadatakse koos turuosalistega üle (võrgu)**tasude ja aktsiisi arvestamise kord** ning viiakse ELTSi sisse muid vajalikke täiendusi, mille vajadus eelnevate sammude jooksul on tuvastatud.

- Otsustatakse, kas põhjendatud on tasustamine neto- (nn kaoelekter ehk elekter sisse miinus elekter välja) või brutokoguselt, viimane on täna kasutusel. Kaoelektri põhine arvestus on argumenteeritud sellega, et salvestusseadet võib pidada võrgu osaks ning sealt läbi käinud elektri eest ei ole põhjendatud võtta võrgutasu (täpsemalt edastamistasu), kuna elektri edastamise eest tasub elektri lõpptarbija.
- Elektrivõrguga liitumisel peavad kliendid tasuma võrguettevõtjale liitumistasu, mille määramise aluseks on võrguga liitumiseks ehitatavale infrastruktuurile tehtavad tegelikud kulutused. Ehk siis peab salvestusüksuse võrguga liitumise investeeringu kulu katma salvestusettevõtte.
- Võrguettevõtjal salvestusüksusega seoses ka teatud administreerimise ja muud võimalikud kulud, mille peaks kulupõhiselt tasuma salvestusüksus. Seega on põhjendatud võrguettevõtte poolt vastava tariifi kulupõhine väljatöötamine ja kehtestamine – eeldusel, et need kulud ei ole sõltuvuses salvestusüksuse töömahtudest (MWh) võiks tegu olla püsitasuga, mis arvestatakse näiteks salvestusüksuse suuruse (MW) põhjal.
- Võrguettevõtjad ongi uuringu teostajate arusaama kohaselt välja töötamas teisi tasustamise viise – eelkõige mõeldes väikestele elektritootmise üksustele – peale elektrimahu alusel tasustamise.
- Kaoelektri põhise arvestuse korral võiks ELTS §71 lg 10 sõnastus olla näiteks selline: „Salvestusperioodi vältel salvestatud elektrienergia elektrivõrku tagastamise eest käesoleva paragrahvi lõike 1 punkti 4 kohast edastamistasu ei rakendata ning **elektriettevõtjale tagastatakse vastavas proportsioonis tasutud edastamistasu**“.  
**Ettepanek on ka salvestusüksuse elektriaktsiisiga maksustamisel võtta aluseks kaoelekter.**
- Elektrienergia maksustatakse aktsiisiga alates selle tarbijale edastamisel. Aktsiisiga ei maksustata põhi- ja jaotusvõrkude vahel edastatavat elektrienergiat ega võrgukadusid – sarnaselt ei tuleks aktsiisiga maksustada salvestisse võetud ning hiljem elektrivõrku tagastatud elektrienergia.
- Seega tuleks ETKEASi (nt § 24 lg 63) lisada lõik, mis ütleb, et **salvestusseadme hiljem võrku tagasi suunatud elektrilt varasemalt tasutud aktsiis tagastatakse salvestusettevõtjale.**

### Käsitlemiskoht

Võrguettevõtjad koostöös MKMi ning turuosalistega. Muudetakse/täiendatakse ELTS-i.

### Ajaraamid

**2022** – tasustamise ja maksmise kord võrguoperaatorite, Konkurentsiameti ning Maksu- ja Tolliameti poolt üle vaadatud ja vajadusel muudetud.

## Tegevus 7

### Tegevused / suunised

Vaadatakse üle soojussalvestite ja muu innovatsiooniga seotud kulude käsitlemine **soojustariifide** arvestamisel.

- Soojusettevõtjate ettepanek on käsitleda soojussalvesteid ülekandevõrgu mitte aga tootmiseseadme osana (salvesti on nn vahejaam võrgus, kus soojust ei toodeta vaid hoiustatakse ajutiselt). Konkurentsiamet pooldab aga soojussalvestite arvestamist tootmiseseadmena (asendab tipukatelt; on oluline koostootmiseseadmetele, nende elektrilise potentsiaali paremaks ära kasutamiseks). Uuringute teostajad ei näe olulisi eeliseid kummalgi pakutud lahendusel – mõlemad peaksid tagama salvestusseadmega tekkivate kulude katmise soojusettevõttele.
- Uuringu koostajate hinnangul on olulisem teema hinnaregulatsiooni ülevaatamine selliselt, et suurendada soojusettevõtete motivatsiooni innovatsiooniks. Seda selleks, et saavutatav kulude kokkuhoid annaks võitu ka soojuse tootjatele ning motiveeriks astuma samme KHG emissiooni vähendamist.
- Uuringu teostajad pakuvad välja kaks võimalikku soojuse hinnaregulatsiooni täiendust innovatsioonile lisamotivatsioonide tekitamiseks:
  - Soojuse hinna langetamisele suunatud innovatiivsete lahenduste soodustamiseks: Tingimusel, et teostatud muudatus ettevõtte tootmistehnoloogias toob kaasa soojuse piirhinna languse võrreldes eelnevalt kasutatud lahendusega, kasutatakse muudatuse käigus soetatud uutele reguleeritavatele varadele kõrgemat põhjendatud tulukust (WACC). WACCi suurendatakse viie aasta pikkuseks perioodiks maksimaalselt 2 protsendipunkti võrra, kuid sellise määraneni, kus uus piirhind ei ületa piirhinda, mis arvutatakse eelnevalt kasutatud lahenduse korral. Kõrgendatud tulukust on võimalik rakendada ainult juhul, kui teostatud investeeringu tulemusel ei suurene soojuse tootmisel kasvuhoonegaaside emissiooni määr (mõõdetuna kgCO<sub>2</sub>ekv müüdü kohta soojuse MWh kohta).
  - KHG emissioonide vähendamisele suunatud innovatiivsete lahenduste soodustamiseks: Tingimusel, et teostatud muudatus ettevõtte tootmistehnoloogias toob kaasa kasvuhoonegaaside (KHG) heitkoguse määra languse (mõõdetuna kgCO<sub>2</sub>ekv müüdü kohta soojuse MWh kohta) võrreldes eelnevalt kasutatud lahendusega, lubatakse ettevõtjal soojuse hinna arvutamisel järgneva viie aasta jooksul kuludesse lisada nn **KHG krediidi** kulu. Kasvuhoonegaaside krediidi kulu arvutatakse järgmise valemiga:  
$$KHG_{kr} = (EH_1 - EH_2) \times Q_{soojusm} \times (0,5 \times ETS_{hind})$$
  
Kus,

$KHG_{kr}$  - kasvuhooonegaaside krediit (eurot);

$EH_1 CO_{2ekv}$  - eriheide eelneva lahenduse korral (tonni MWh kohta);

$EH_2 CO_{2ekv}$  - eriheide uue lahenduse korral (tonni MWh kohta);

$Q_{soojusm}$  - tootmiseseadmega toodetud soojuse müügikogus (MWh; ei sisalda teistelt soojuse tootjatelt ostetud ja edasimüüdud soojust)

$ETS_{hind}$  – piirihinna taotluse esitamise ajale eelnenud 6 kuu pikkuse perioodi  $CO_{2ekv}$  keskmine hind Euroopa Liidu heitkogustega kauplemise süsteemis (eurot tonni  $CO_{2ekv}$  kohta).

ETS süsteemi hinna kasutamine võib tekitada teatavat segadust ning samuti on see volatiilne. Seetõttu võiks komponenti ( $0,5 \times ETS_{hind}$ ) asendada ka teatud fikseeritud hind (nt 20€/t), mida siis igal aastal indekseeritakse kindlaksmääratud valemi alusel.

Kasvuhooonegaaside krediiti on võimalik rakendada määran, kus see ei tõsta soojuse piirihinda rohkem kui 5% võrreldes eelnevalt kasutatud lahendusega.

**Käsitlemiskoht**

Konkurentsiamet ja suuremad soojuse tootjad. Täiendatakse Konkurentsiameti soojuse piirihinna kooskõlastamise põhimõtteid (peadirektori käskkiri).

**Ajaraamid**

**2022** – tasustamise kord on Konkurentsiameti (turuosalistega konsulteerides) poolt üle vaadatud ja vajadusel muudetud.

**Tegevus 8**

**Salvestatud elektrienergia mõõtmine** isikutel kes on samal aja elektri tootjad, salvestajad ja tarbijad ning salvestavad nii enda toodetud kui ka võrgust võetud elektrit

**Tegevused / suunised**

Nimetatud tehnilisele probleemile ei ole senini head lahendust välja pakutud. Seetõttu on keeruline juurutada ka Tegevus 6 alla ette pandud koelektri põhise võrgutasude ja elektriaktsiisi arvestust.

**Käsitlemiskoht**

**Ajaraamid**

#### 4.3.2. Rahalised toetusmeetmed

Toetusmeetmed peavad olema erinevad erinevate salvestustehnoloogiate jaoks või erinevate eesmärkide vajadustest lähtuvalt. Järgnevalt on toodud toetusmeetmed eelisarendamiseks valitud tehnoloogiate lõikes ning hinnatud on ka nende rakendamisega seotud võimalikku kulu riigile.

##### 1. Pumphüdrosalvestus

###### Meetme põhjendus

PHSid on suuremahulised salvestid, mis suudavad olulisel määral mõjutada elektriturgu ning panustada tõhusalt energiaga varustamise stabiilsusesse, elektrisüsteemi toimimisse, elektrihindade stabiilsusesse ja taskukohasusse, taastuenergia osakaalu tõstmisse ja ressursside efektiivsemasse kasutamisse. PHS tehnoloogia on kõrge valmiduse astmega ning juba pikalt turul kasutusel.

Toetuse vajadus on aga seotud finantseerimisega, kuna hinnavahede vastu (arbitraaži) finantseerimine on pankade seisukohalt liiga riskantne ning süsteemiteenuste turgu ei ole veel Eestis (Baltikumis) tekkinud. Samuti on ohuks riigipoolsed subsideeritud ning mitte turupõhiselt opereerivate salvestite tulek turule (Leedu ja Läti näitel).

###### Meetme kirjeldus

Sobivaimaks meetmeks oleks riigi garantii, mis oleks **vajaduspõhine** ehk iga üksiku salvesti osas tuvastatakse eraldi vajadus ja räägitakse läbi tingimuste detailid. Garantii rakenduks teatud (madala) hinnavahe korral teatud perioodide arvestuses – nt kvartal, poolaasta. Oluline on kirjeldada ja kokku leppida garantii realiseerumise juhtumid ning muud vajalikud tingimused. Kokkuvõtvalt on analüüsi teostajate ettepanekud peamiste tingimuste osas toodud järgnevalt:

- Millise ostu- ja müügihinna vahe (*spread'i*) korral garantii rakendub? Tabel 18 on toodud PHJ vajalikud hinnavad, erinevate ostuhindade juures, mis võivad olla garantii rakendumise aluseks suurel PHJ'il. Selles tabelis toodud arvutused saab garantii rakendumise juhtumi määramiseks aluseks võtta, kuid lõplikud reeglid saavad selguda alles läbirääkimistel konkreetsete investoritega.

**Kuna suuri salvestusseadmeid tuleb/mahub Eesti turule ainult üksikuid ning nende parameetrid on konkreetse salvesti spetsiifilised, siis on vajalik garantiireeglid kohandada vastavalt projektile.**

- Eelnevast lähtuvalt (vt Tabel 18) on vaja siduda garantii rakendumine elektri hinnaga, millega salvestil oli võimalik teatud perioodil elektrit laadimiseks sisse osta – ehk lisaks *spread'ile* on oluline ka elektri ostuhind (millega *spread'id* Tabel 18 seotud ongi). Samuti tuleb määrata perioodid, mille alusel hinnavahesid ja ostuhinda arvutatakse. Joonis 6 on hinnavad arvutatud 24h (ööpäevaste) tsüklite lõikes. 2021.a põhjal saab probleemi näitlikustamiseks tuua aga kaks näidet:
  - 24h (12h laadimist / 12h tootmist) tsüklite põhjal oli aasta keskmine vahe 45EUR/MWh ning keskmine ostuhind 64EUR/MWh;
  - 48 h (sh 12h laadimist / 12h tootmist) tsüklite põhjal oli aasta keskmine vahe 64EUR/MWh ning keskmine ostuhind 57EUR/MWh;

Seega muutus arvestusperioodi pikenedes tasuvus paremaks ja toetuse vajadus väiksemaks. Kui 64EUR/MWh ostuhinna juures on vajalik vahe



ligikaudu 80EUR/MWh, siis 57EUR/MWh juures ca 76EUR/MWh. Esimesel juhul oli vahe vajaliku *spread*iga 23EUR/MWh, teisel ainult 12 EUR/MWh.

**Kuna PHJ tööajaks on eeldatud 2400h aastas, siis võib olla põhjendatud 48h põhine arvestus (nö libisev keskmine).**

- Kuidas võtta arvesse neid perioode, kui vahe oli piisav tasuvuse tagamiseks ja salvestaja teenis eeldatavalt ka nn ekstrakasumit, millega võiks hüvitada eelmistel perioodidel riigi poolt tehtud kulud (st kui garantii realiseerus).

**Uuringu teostajate hinnangul on põhjendatud kasutada erinevate perioodide (kvartalite) vahelist tasaarveldamist.**

- Kuidas arvestada teisi tulu teenimise võimalusi peale päev-ette turu – st süsteemiteenused, päevasisene turg jm. Sellised tulud on uuringu teostajate hinnangul ebaregulaarsed ja raskesti prognoositavad; nende toodete turgudel on teistsugune konkurentsiloogika ja turule pääsemine võib olla keeruline. Selliste tuludega arvestamisel garantiitingimustes tekitab juurde täiendavat keerukust ja bürokraatiat.

**Uuringu koostajate ettepanek on muid tulusid garantii tingimustes mitte arvestada, selle asemel võib muuta mõnevõrra madalamaks garantii realiseerumise lävendi (st *spread*'i, mille korral garantii rakendub).**

- Kui pikk on garantii kestus? Pangalaenu perioodiks võib varade eluiga arvestades olla ca 15 aastat. Sarnase pikkusega peaks olema ka riigi poolt antav garantii.
- Millise tootlusega (salvestusprojekti kapitalikulu) arvutustes arvestatakse. Tabel 18 võeti näiteks aluseks 5% suurune reaaltootluse määr st vastav nominaaltootlus (st koos inflatsiooniga) võiks olla ca 7,0-7,5%.

## Turumahu ja maksumuse hinnang

Eestis on täna arenduses kaks PHSi – Energiasalve **500MW** ja Eesti Energia **50MW**. Kui Eesti Energia võib kaevandustes väiksemaid salvesteid veelgi rajada, siis täiendava suurmahulise salvesti lisandumise tõenäosus on väiksem – see sõltub turu arengutest. Tegime arvutuse eelnevas näites toodud 12EUR/MWh suuruse keskmise kompensatsiooni määraga.

Kui arvestada järgmiste eeldustega ...

- salvestite maht: 550MW
- töötunnid aastas: 2400h
- keskmine kompensatsioon: 12EUR/MWh

... siis kujuneks vajalikuks toetuse (garantii realiseerumisel) summaks ca **16 MEUR aastas**.

## 2. Liitiumioonakud

### Meetme põhjendus

Liitiumioonakud on kõige kõrgema tehnoloogilise valmisolekuga akutehnoloogia. LIBd on ka Eestis kasutuses päikeseelektri salvestamiseks. Elektrilevi kaalub neid võrgulaienduse asendusena ning üks hange on ka ette valmistamisel.

LIBd soodustavad taastuvelektri (eelkõige päike) kasutuselevõttu, aitavad vähendada võrgukoormust ja võrguinvesteeringuid ning võivad panustada ka süsteemiteenuste osutajatena – väikesed liitiumioonakud tuleb selleks aga agregeerida.

### Meetme kirjeldus

LIBde toetamiseks saab pakkuda erinevaid variante:

1. Investeeringutoetus, mis võib olla ka piiratud teatud piirkondadega: suure koormusega võrgupiirkonnad, autonoomsed lahendused või ka tingimusega, et akupank osaleb süsteemiteenuste turul (lähiajal ei ole sellise tingimuse seadmine veel võimalik). Kui toetuse määraks oleks näiteks 40% investeeringu maksumusest, oleks salvestamises tekkiv lisakulu väljastatud elektrile ca 50 eurot/MWh<sup>67</sup>, mis võiks neil lubada osaleda ka arbitraažiturul.
2. Soodustada akude paigaldamist hoonete renoveerimisel suurendades selliste juhtudel toetuse osakaalu.
3. Toetada väikeakude integreerimist ja integreerimislahenduste (platvormi) pakkujaid. Turuosaliste andmetel võiks integreerimise platvormi investeering olla minimaalselt 100 000 eurot. Selle opereerimisel tekivad ka märkimisväärsed jooksvad kulud. Eesti turul võiks tegutseda konkurentsi tekitamiseks mitu platvormi. Investeeringutoetuse maksmine platvormide loomiseks poleks riigile ilmselt märkimisväärne kulu, kuid need võiksid anda olulise impulsi akuturu arengule.

### Turumahu ja maksumuse hinnang

Energiateekaart (Rohetiiger, 2021) eeldas väiketarbijate elektriakude kogumahuks ambitsioonika stsenaariumi korral **500MW** aastaks 2040<sup>68</sup>.

Kui arvestada järgmiste eeldustega ...

- |                                  |             |
|----------------------------------|-------------|
| - akude maht:                    | 500MW       |
| - koguinvesteering:              | 690MEUR     |
| - sh toetusele kvalifitseeruvad: | 25% akudest |
| - toetuse määr:                  | 30%         |

... siis kujuneks investeeringutoetuse summaks **51,8MEUR** perioodil 2023-2040 kokku. Juhul kui toetusele kvalifitseerub suurem proportsioon akudest, kasvab proportsionaalselt ka toetuse summa (max ca 200MEUR).

<sup>67</sup> Lähtudes töö teostajate poolt kasutatud eeldustest (nt investeeringu maksumus 1300EUR/kW, tööaeg aastas 2400h, eluiga 15 aastat, efektiivsus 80%).

<sup>68</sup> Kliimaneutraalse elektritootmise uuringus (SEI, Trinomics etc, 2022) oli 8 stsenaariumi keskmiselt (mediaannäitaja) 2040.a isegi 1200MW patarei salvestust (min 460MW; max 2500MW);

Käivitud energia salvestamise pilootprogrammis (finantseeritakse ELi taaste- ja vastupidavuskavast) toetatakse ka akusalvestuse lahendusi. Toetatakse ettevõtete investeringuid salvestuslahendustesse. Toetust võivad taotleda ka soojuste salvestajad. Toetuse määraks on maksimaalselt 30% (väikeettevõtetel kuni 50%).

### 3. Läbivooluakud (redox)

#### **Meetme põhjendus**

Läbivooluakud oleksid alternatiiviks LIBile. Need on ka teatud parameetritelt paremad (pikem tühjenemistsükkel ja eluiga) ja aitavad hajutada ühe tehnoloogia ning teatud ressursside intensiivse kasutamisega (nt liitium) seotud riske.

Täna on hinna, eluea ja tehnoloogiliste näitajate võrdluses siiski liitiumioonakud veel eelistatud.

#### **Meetme kirjeldus**

Läbivooluakude toetamisel on sisuliselt samad põhjendused, mis LIBdel, tulenevalt nende mõningatest erinevatest parameetritest võib meetmeid sellele lahendusele sobivamaks muuta.

Võimaluste väljaselgitamiseks ning turule toomise julgustamiseks on soovitatav pilootprojektide toetamine ja initsieerimine (sarnaselt vesinikuga täna). Eestis saab toetuda Tartu Ülikooli kogemusele ja teadmistele.

#### **Turumahu ja maksumuse hinnang**

Kuna läbivooluaku on eelkõige alternatiiviks liitiumioonakule, siis võib need arvestada LIBdega samade meetmete alla.

Lisakulu võib tekkida pilootprojektide toetamisest.

### 4. Vesinik

#### **Meetme põhjendus**

Vesiniku tootmine on küll pika ajalooga, kuid nn roheline vesiniku (taastuenergiast toodetud) tootmismahud on maailmas veel suhteliselt väikesed. Põhjuseks on kõrged kulud, mis on seotud ka vesinikust elektri tootmise madala efektiivsusega (25-45%).

Vesiniku kasutuskohana nähakse peamiselt transporti, kuid selle kõrval võib teatud olukordades toota vesinikust elektrist või isegi soojusenergiat.

#### **Meetme kirjeldus**

Täna on võimalik ja otstarbekas toetada ainult pilootprojekte, mida Eestis ka juba tehakse. Toetatakse rohevesiniku tootmise ja kasutamise terviklahendusi. Esimene toetus KIKi poolt (**5 MEUR**) anti Utilitas kontsernile rohevesiniku tootmiseks ja kasutamiseks taksonduses.

Järgmises voorus (2023a.) on toetusmeetme suuruseks juba **50 MEUR**.

**Turumahu ja maksumuse hinnang**

Energiateekaarti (Rohetiiger, 2021) on ambitsioonika stsenaariumi kohaselt vesiniku kasutamise mahuks Eesti transpordis ca **5300 tonni aastas**<sup>69</sup> (2040a) ehk 178GWh. Lisaks on arvestatud, et suure osa meretuuleparkide tootmismahust võib muuta vesinikuks. Sellisel juhul võiksid tootmismahud tõusta kümnete tuhandete tonnideni ja energiasaldust saab mõõta teravattides.

**5. Mahtsoojussalvesti (vesi)**

**Meetme põhjendus**

Mahtsalvestus veega on sisuliselt ainuke kasutuses olev ning lähitulevikus potentsiaalselt ka kaugküttest kasutamiseks valmis olev tehnoloogia. Aitab vähendada fossiilkütuste kasutust (tiputarbimisel).

Lisaväärtusteks on veel CHPde töötamine sujuvamal režiimil ning võimalus kasutada avariiveehoidlana (lekete korral saab salvestiga edukalt võrku edasi töös hoida).

Seetõttu on soovitatav kaaluda tehnoloogia toetamist. Eelnevalt tuleks üle vaadata hinnaregulatsioon: kas salvesti on tootmiseseade või võrgu osa ehk millisesse tariifi salvesti kulu arvestada.

**Meetme kirjeldus**

Sobivaim meede on investeeringutoetus. Investeeringu tasuvust saab arvutada alternatiivkulu meetodil ning üldiselt on alternatiiviks senise tipukatla renoveerimine ja opereerimine fossiilkütustega.

Võimalike mahtsoojussalvestite rajajad on arvestanud toetuse vajaduseks 30% investeeringu maksumusest.

Käesoleva analüüsi koostajate arvestuse kohaselt tagaks selline toetus salvestialternatiivi tasuvuse olukorras, kus gaasikatla muutuvkulu (loe maagaasi) suuruseks on ca 60 EUR/MWh. Salvesti oleks eelistatud alternatiiv olukorras kus gaasikatla muutuvkulu on ca 120 EUR/MWh.

**Turumahu ja maksumuse hinnang**

Energiateekaardis (Rohetiiger, 2021) eeldati Tallinna, Tartu ja Pärnu mahtsalvestite kogumahuks 60 000 m<sup>3</sup> (320 MW) ning salvestite rajamine oli planeeritud juba aastateks 2023-2024. Lisaks võib Eestis tekkida mahtsoojussalvesteid väiksemate koostootmise jaamade juurde – Kuressaares on üks selline juba kasutusel (400m<sup>3</sup>).

30% suuruse toetuse määra juures muutuks uuringu koostajate hinnangul mahtsoojussalvesti atraktiivsemaks alternatiiviks maagaasi põhise tipukatlamaja renoveerimise ja kasutamisega võrreldes. Sarnane toetuse määra on ette nähtud ka ELi taaste- ja vastupidavuskavast finantseeritavas salvestuse pilootprogrammis.

Kui arvestada järgmiste eeldustega ...

- salvestusmaht: 320 MW
- koguinvesteering: 35,5 MEUR

<sup>69</sup> Utilitase pilootprojekti tootmismahud on 30 tonni vesiniku aastas;

- toetuse määr: 30%

... siis kujuneks investeeringutoetuse summaks **10,7 MEUR**.

## 5. LISAD

### 5.1. Ekspertgrupi intervjuud

Ettevõtte / Intervjueeritav(ad)	Aeg
Energiasalv, Sunly / Peep Siitam	04.03.22
Utilitas / Aivo Lokk	28.03.22
TalTech / Einari Kisel	16.03.22
Elering / Erkki Sapp, Hardi Koduvere	04.03.22
Elektrilevi / Mihkel HärmHärm	14.04.22
Eesti Energia / Mart Tasa, Kaur Leier	09.03.22
Fusebox / Ahto Pärl	08.04.22
Roofit / Adam Erki Enok	04.03.22
PAKRI Science and Industrial Park / Enn Laansoo Jr, Marti Laidre	13.04.22
Alexela / Kalvi Nõu	25.03.22
Konkurentsiamet / Margus Kasepalu, Marilin Tilkson	05.04.22

### 5.2. Valitud elektrisalvestustehnoloogiate kirjeldused

#### Pumphüdrosalvestus (PHS)

PHS-rajatised on suuremahulised energiasalvestid, mis kasutavad elektri tootmiseks gravitatsioonijõudu. Odava energiakulu ja suure taastuenergia tootmise perioodidel pumbatakse vett ladustamiseks kõrgemale kõrgusele (basseini). Kui elektrit on vaja, lastakse vesi tagasi alumisse basseini, genereerides elektrit turbiinide kaudu. Hiljutised uuendused on võimaldanud PHS-seadmetel kasutada reguleeritavaid kiirusi, et paremini reageerida elektrivõrgu vajadustele ja töötada ka suletud ahelaga süsteemides. Erinevalt traditsioonilisest PHEJst töötab suletud ahelaga PHEJ ilma, et oleks pidevalt ühendatud vooluveeallikaga, muutes PHEJ valikuvõimaluseks paljudes kohtades.

Võrreldes muude energiasalvestusvormidega võib pump-hüdroenergiasalvestus olla odavam, eriti väga suure võimsusega salvestusruumi puhul (millele teised tehnoloogiad ei suuda vastata). Elektrienergia uurimisinstituudi (Electric Power Research Institute, USA) andmetel varieerub pump-hüdroenergiasalvestite installeeritud maksumus vahemikus 1700–5100 USD/kW kohta, liitiumioonakude puhul aga 2500–3900 USD/kW kohta. Pump-hüdroenergiasalvesti on täistsükli jooksul enam kui 80%lise kasuteguriga ja PHES-seadmed suudavad tavaliselt pakkuda 10 tundi elektrit, võrreldes umbes 6 tunniga liitiumioonakude puhul. Hoolimata nendest eelistest on PHJ projektide väljakutseks see, et tegemist on pikaajaliste investeeringutega: loa andmine ja ehitamine võivad kesta

kumbki 3-5 aastat. See võib peletada investoreid, kes eelistaksid lühema tähtajaga investeeringuid, eriti kiiresti muutuval turul.

Virginia osariigis Bathi maakonnas varustab maailma suurim pump-hüdroenergiasalvesti elektrienergia umbes 750 000 kodu. See on ehitatud 1985. aastal ja selle võimsus on ligikaudu 3 GW.

### **Suruõhu energiasalvesti (CAES)**

Suruõhusalvestiga pumbatakse tiptundidel, mil elekter on odavam, õhk maa-alusesse ruumi, tõenäoliselt vanasse soolakaevandusse (soolakoopasse). Kui energiat on vaja, lastakse maa-alusest koopast õhk tagasi rajatisse, kus see kuumeneb, paisub ja käivitab turbogeneraatori (elektrigeneraatori). Kuumendamiseks kasutatakse tavaliselt maagaasi, mis eraldab süsinikku; CAES aga kolmekordistab ainult maagaasi kasutatavate energiarajatiste energiatoodangut. CAES suudab saavutada kuni 70%lise kasuteguri, kui õhu salvestamiseks kokkusurumisel eralduv soojus taaskasutatakse (adiabaatiline CAES), vastasel juhul jääb efektiivsus 42-55% vahele. Praegu töötab teadaolevalt ainult kaks CAESi rajatist: üks McIntoshis Alabamas ja üks Saksamaal Huntorfis. 1991. aastal ehitatud McIntoshi jaamas on 110 MW salvestusruumi. Texase osariigis Andersoni maakonnas ehitatakse 317 MW CAESi tehas.

### **Liitiumioonakud**

Esimest korda tootis Sony 1990. aastate alguses kaubanduslikult liitiumioonakusid, mida kasutati algselt peamiselt väikesemahuliste tarbekaupade, näiteks mobiiltelefonide jaoks. Viimasel ajal on neid kasutatud suuremahuliste akusalvestite tegemiseks ja elektrisõidukites. 2017. aasta lõpus langes elektrisõidukite liitiumioonaku hind 209 USD/kWh, eeldades, et tsükli eluiga on 10-15 aastat. Bloomberg New Energy Finance ennustab, et liitiumioonakud maksavad 2025. aastaks alla 100 USD/kWh.

Liitiumioonakud on tänapäeval vaieldamatult kõige populaarsem akusalvestusvõimalus ja need kontrollivad enam kui 90 protsenti ülemaailmsest võrguakude salvestusturust. Võrreldes teiste akuvalikutega on liitiumioonakudel kõrge energiatihedus ja need on kerged. Uuendused, nagu grafiidi asendamine räniga, et suurendada aku võimsust, püüavad muuta liitiumioonakud veelgi konkurentsivõimelisemaks energia pikaajalises säilitamises.

Lisaks kasutatakse liitiumioonakusid praegu arengumaades sageli maapiirkondade elektrifitseerimiseks. Maakogukondades ühendatakse liitiumioonakud päikesepaneelidega, et kodumajapidamised ja ettevõtted saaksid kasutada piiratud koguses elektrit mobiiltelefonide laadimiseks, seadmete käitamiseks ja kerghoonete elektrivarustuse jaoks. Varem pidid sellised kogukonnad toetuma saastavatele ja kallitele diisलगeneraatoritele või puudus neil juurdepääs elektrile.

Kui Aliso kanjoni maagaasirajatis 2015. aastal lekkis, tormas California kasutama liitiumioontehnoloogiat, et kompenseerida rajatise energiakadu tiptundidel. Tesla, AES Energy Storage ja Greensmith Energy ehitatud akuhoidlad annavad 70 MW võimsust, millest piisab 20 000 maja toiteks neljaks tunniks.

Lõuna-Austraalias asuv Hornsdale Power Reserve on maailma suurim liitiumioonaku ja seda kasutatakse elektrivõrgu stabiliseerimiseks energiaga, mida see saab lähedalasuvast tuulepargist. Selle 100 MW aku ehitas Tesla ja see annab elektrit enam kui 30 000 majapidamisele.

General Electric on projekteerinud 1 MW liitiumioonaku konteinerid, mida saab osta 2019. aastast. Need on kergesti transporditavad ja võimaldavad taastuvenergia rajatistel kasutada väiksemaid ja paindlikumaid energiasalvestusvõimalusi.

### **Läbivooluakud**

Läbivooluakud on alternatiiv liitiumioonakudele. Kuigi liitiumioonakudest vähem populaarsed – vooluakud moodustavad akuturust vähem kui 5 protsenti –, on vooluakusid kasutatud mitmes energiasalvestusprojektis, mis nõuavad pikemat energiasalvestuse kestust. Vooluakudel on suhteliselt madal energiatihedus ja pikk eluiga, mistõttu sobivad need hästi pidevaks toiteallikaks. Näiteks Washingtoni osariigis asuv Avista Utilities tehas kasutab vooluaku salvestusruumi.

Hiinas Dalianis ehitatakse praegu 200 MW (800 MWh) vooluakut. See süsteem ei ületa mitte ainult Hornsdale Power Reserve'i kui maailma suurimat akut, vaid on ka ainus suuremahuline aku (>100 MW), mis koosneb liitiumioonakude asemel vooluakudest.

## **Vesinik**

Vesinikkütuseelementidel, mis toodavad elektrit vesiniku ja hapniku ühinemise teel, on ahvatlevad omadused: need on töökindlad ja vaiksed (ilma liikuvate osadeta), väikese jalajälje ja suure energiatihedusega ning ei eralda heitmeid (puhta vesinikuga töötades on vesi ainus kõrvalsaadus). Protsessi saab ka ümber pöörata, muutes selle kasulikuks energia salvestamisel: vee elektrolüüsil tekib hapnik ja vesinik. Kütuseelementirajatised võivad seetõttu toota vesinikku, kui elekter on odav, ja hiljem kasutada seda vesinikku elektri tootmiseks, kui seda vaja läheb (enamasti toodetakse vesinikku ühes kohas ja kasutatakse teises kohas). Vesinikku saab toota ka biogaasi, etanooli või süsivesinike reformimisel, mis on odavam meetod, kuid mis eraldab süsinikku. Kuigi vesinikkütuseelementid on endiselt kallid (peamiselt plaatina, kalli metalli vajaduse tõttu), kasutatakse neid paljude kriitiliste rajatiste (telekommunikatsioonireleed, andmekeskused, krediitkaarditöötlus jne) esmase ja varutoiteallikana.

## **Hoorattad**

Hoorattad ei sobi pikaajaliseks energia salvestamiseks, kuid on väga tõhusad koormuse tasandamiseks ja koormuse nihutamiseks. Hoorattad on tuntud oma pika eluea, suure energiatiheduse, madalate hoolduskulude ja kiire reageerimiskiiruse poolest. Mootorid salvestavad energiat hoorattastesse, kiirendades nende pöörlemist väga suurtele kiirustele (kuni 50 000 pööret minutis). Mootor saab hiljem kasutada seda salvestatud kineetilist energiat elektri tootmiseks, minnes tagasikäigule e muutudes generaatoriks. Hoorattad jäetakse tavaliselt vaakumisse, et minimeerida õhuhõõrdumist, mis aeglustab ratast. 2011. aastal New Yorgis Stephentownis esitletud Stephentown Spindle, mille võimsus on 20 MW, oli esimene hoorattatehnoloogia kaubanduslik kasutusviis, millega reguleeriti võrku Ameerika Ühendriikides. Sellest ajast alates on kasutusele võetud mitmed teised hoorattarajatised.

## **Salvestus ja elektrisõidukid**

Energia salvestamine on eriti oluline elektrisõidukite (*EV – electrical vehicle*) jaoks. Kuna elektrisõidukid muutuvad arvukamaks, suurendavad nad tippundidel elektrinõudlust, kuna inimesed tulevad töölt koju ja ühendavad oma auto öiseks laadimiseks. Vältimaks vajadust uute elektrijaamade järele selle lisanõudluse rahuldamiseks, tuleb elektrit salvestada ka väljaspool tippundi. Hoidmine on oluline ka majapidamistele, kes toodavad ise taastuvelektrit: autot ei saa üleöö laadida päikeseenergiaga ilma salvestussüsteemita.

Huvitav on see, et elektrisõidukeid saab kasutada varuvahendina võrgu rikke või nõudluse suurenemise perioodidel. Kuigi enamik elektrisõidukeid ei ole tänapäeval mõeldud energia tagasi võrku varustamiseks, suudavad sõiduk-võrku (*V2G vehicle-to-grid*) autod salvestada elektrit autoakudesse ja seejärel selle energia hiljem võrku tagasi kanda. Elektrisõidukite akusid saab endiselt kasutada võrgus isegi pärast nende autodelt eemaldamist: mitmetes kommunalteenustes saab kasutuselt kõrvaldatud elektrisõidukite akusid kasutada energiasalvestitena. Selliseid akusid saab kasutada elektrienergia salvestamiseks võrgurakendustes kuni kümme aastat. Selle näite võib tuua Saksamaalt



Elverlingsenist, kus koguti ligi 2000 Mercedes Benz EVde akut, et luua statsionaarne võrgusuurune aku, mis mahutab ligi 9 MW võimsust.

Alljärgnevat tabelites (Tabel 9, Tabel 10, Tabel 11 ja Tabel 12) on lühidalt kirjeldatud Eestisse sobivaimaid energiasalvestustehnoloogiasid (siin peatükis elektrisalvestus) ja nende olulisemaid parameetreid.

### 5.3. Soojuse salvestamise mehhanismid

#### 5.3.1. Faasimuutusega salvestamine

Kui energia juhtimisega salvestisse soojusülekanne teel, tõstes salvesti temperatuuri, ei esine salvestina kasutatava aine faasimuutust või keemilisi protsesse, siis räägitakse mõistest „ilmne soojus”. **Ilmne soojus** on seotud materjali erisoojusega ja temperatuuri muuduga ning soojushulka  $Q$  võib väljendada järgmise valemiga (5.1):

$$Q = m * c_p * (T_2 - T_1) = m * c_p * \Delta T \quad (5.1)$$

kus  $m$  on aine mass, [kg];  $c_p$  on isobaarne erisoojus, [J/(kg\*K)];  $T_2$  on aine lõpptemperatuur [K] ja  $T_1$  on aine algtemperatuur [K].

Faasimuutusega salvestamine põhineb mingi tahke keha või vedeliku temperatuuri tõstmisel ehk siseenergia suurenemisel. Faasimuutusega salvestussüsteemid on üldjuhul lihtsamad ja odavamad kui teised energia salvestamise viisid, kus kasutatakse energia ülekandmist soojusena. Mõningate enamlevinud materjalide omadusi on kirjeldatud allolevas tabelis (Joonis 9).

Joonis 9 Enamlevinud materjalide omadusi [HUG10, LEY71]

Materjal	Tihedus	Erisoojus	Mahuline salvestusvõime	Soojusjuhtivustegur <sup>70,71</sup>
	kg/m <sup>3</sup>	J/(kg*K)	10 <sup>6</sup> ·J/(m <sup>3</sup> *K)	W/(m <sup>2</sup> *K)
Savi	1458	879	1,28	0,88
Kivi (tellis)	1800	837	1,51	0,77
Liivakivi	2200	712	1,57	1,6
Puit	700	2390	1,67	0,17
Betoon	2000	880	1,76	1,28
Klaas	2710	837	2,27	0,76
Alumiinium	2710	896	2,43	229

<sup>70</sup> I. Mikk. Soojustehnika käsiraamat. Tallinn, Valgus, 1977

<sup>71</sup> D. van Leyen. Wärmeübertragung. Grundlagen und Berechnungsbeispiele aus der Nachrichtentechnik. Siemens Aktiengesellschaft, Berlin München, 1971.

Materjal	Tihedus	Erisoojus	Mahuline salvestusvõime	Soojusjuhtivustegur <sup>70,71</sup>
	kg/m <sup>3</sup>	J/(kg*K)	10 <sup>6</sup> ·J/(m <sup>3</sup> *K)	W/(m <sup>2</sup> *K)
Teras	7840	465	3,68	59
Magnetiit	5177	752	3,69	-
Vesi	988	4182	4,17	0,55 (0 °C juures)

Igal materjalil on eelised ja puudused. Vee erisoojus on teiste materjalide omast rohkem kui kaks korda suurem, kuid vett saab atmosfäärirõhul kasutada vaid piiratud temperatuurivahemikus (5 °C...95 °C). Osasid tahkeid materjale saab kasutada aga näiteks suuremas temperatuurivahemikus. Teatud juhtudel on oluliseks parameetrikaks ka materjali soojusjuhtivustegur, mis määrab ära salvesti laadimise/tühjakslaadimise kiiruse.

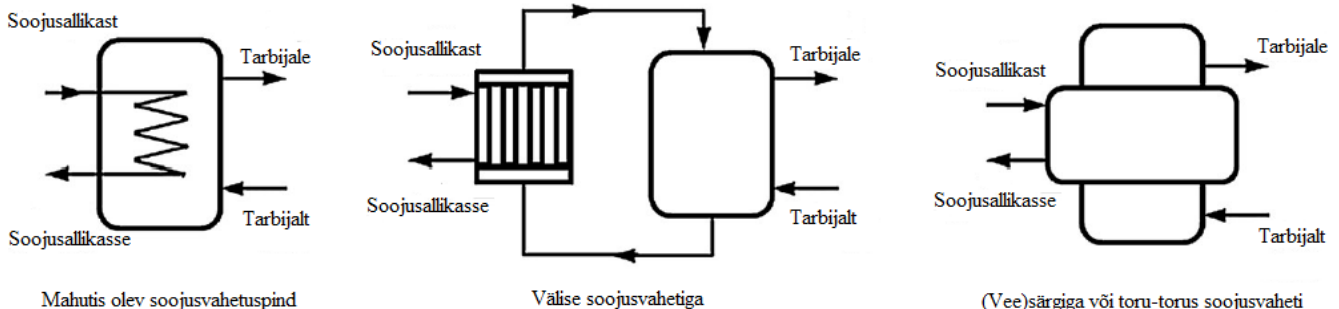
Faasimuutuseta salvestamise korral tuleb tähelepanu pöörata järgmistele aspektidele:

- mahu või massi kohta salvestatav soojuse kogus – soojusmahtuvus;
- töötamise temperatuurivahemik;
- soojust transportiva aine omadused (toksilisus, korrodeerivad omadused, erisoojus);
- ajutine soojuse kihistumine;
- energia vajadus energia juhtimiseks ja eemaldamiseks salvestist soojusülekande abil;
- salvestusaine koguseline vajadus;
- jahtumiskaod, kulud.

Faasimuutuseta salvestamise korral sõltuvad jahtumiskaod temperatuurivahest väliskeskkonnaga ja salvesti soojusisolatsiooni soojuslähikandetegurist.

Vesi on sobilik energia salvestamiseks soojusena temperatuurivahemikus 5 °C...95 °C ning veel on suhteliselt kõrge erisoojus (4,18 kJ/kgK) ja teda võib pidada hinna poolest suhteliselt odavaks.

Vee kasutamiseks on vaja mahuteid, mis võivad olla tehtud metallist, betoonist või olla looduslikud õõnsused. Salvestamiseks võib kasutada mahutis olevat vett, mis on ka salvestatavaks aineks (aktiivne süsteem) või mingit muud vedelikku, mis läbib mahutisse paigaldatud soojusvahetit (passiivne süsteem) (Joonis 10).

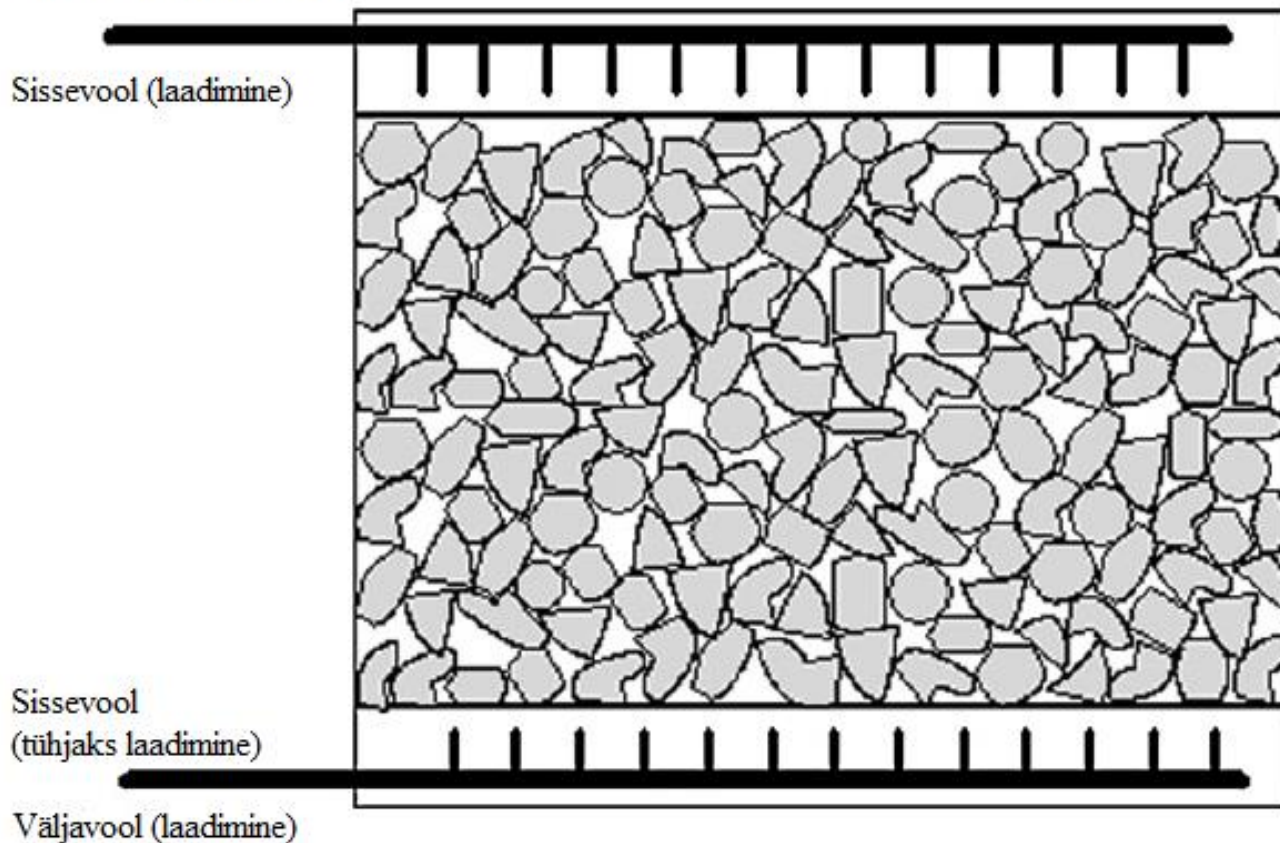


### Joonis 10 Energia salvestamine mahutis soojusülekanne kasutades<sup>72</sup>

Pinnasesse salvestamise puhul ei vaadelda traditsioonilist kaljupinnasesse energia salvestamist, vaid energia salvestamiseks valmistatud kivikihti. Kivikihti salvestamisel (Joonis 11) läbib kivikihti soojuskandjana nt kas vesi või õhk.

Pinnasesse salvestamise (sh kivi) korral tuleb peamiselt arvestada süsteemide paigaldamise kuluga (pinnase eemaldamine, tagasitäitmine, puurimine jne), kuna pinnas ise on suhteliselt odav. Kasutatakse nii vertikaalseid puurauke (Joonis 12) kui ka horisontaalseid torusid (Joonis 13).

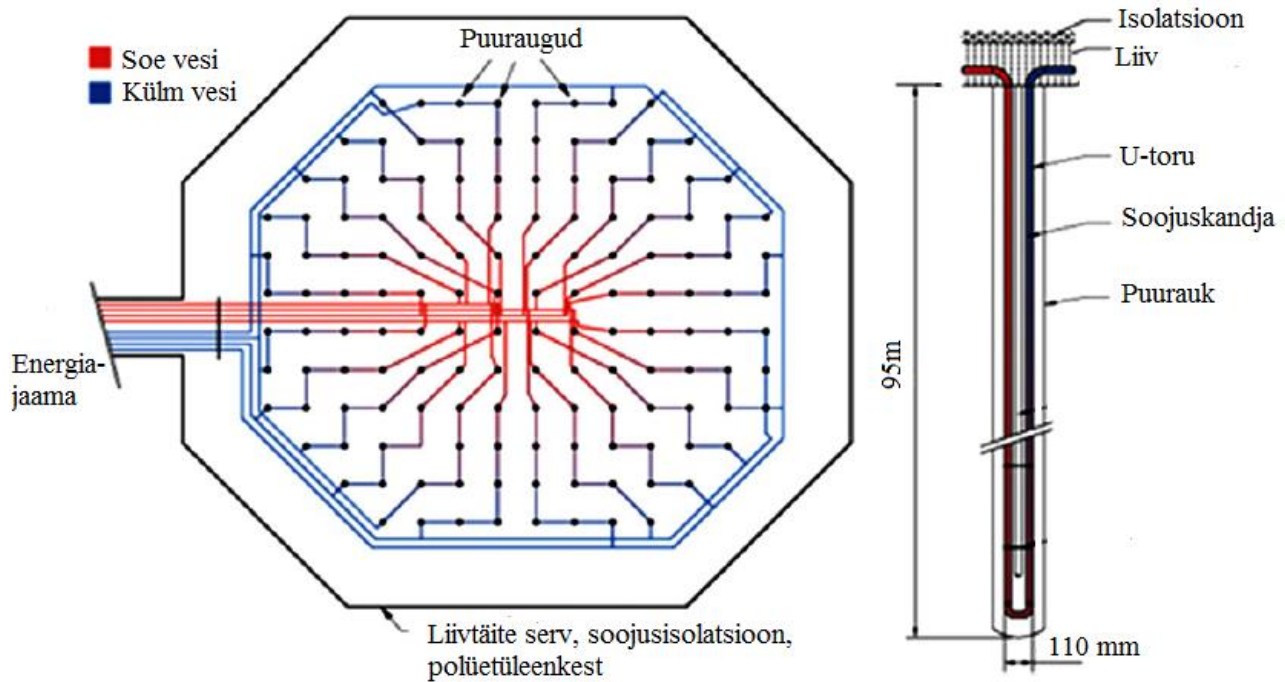
Väljavool (tühjaks laadimine)



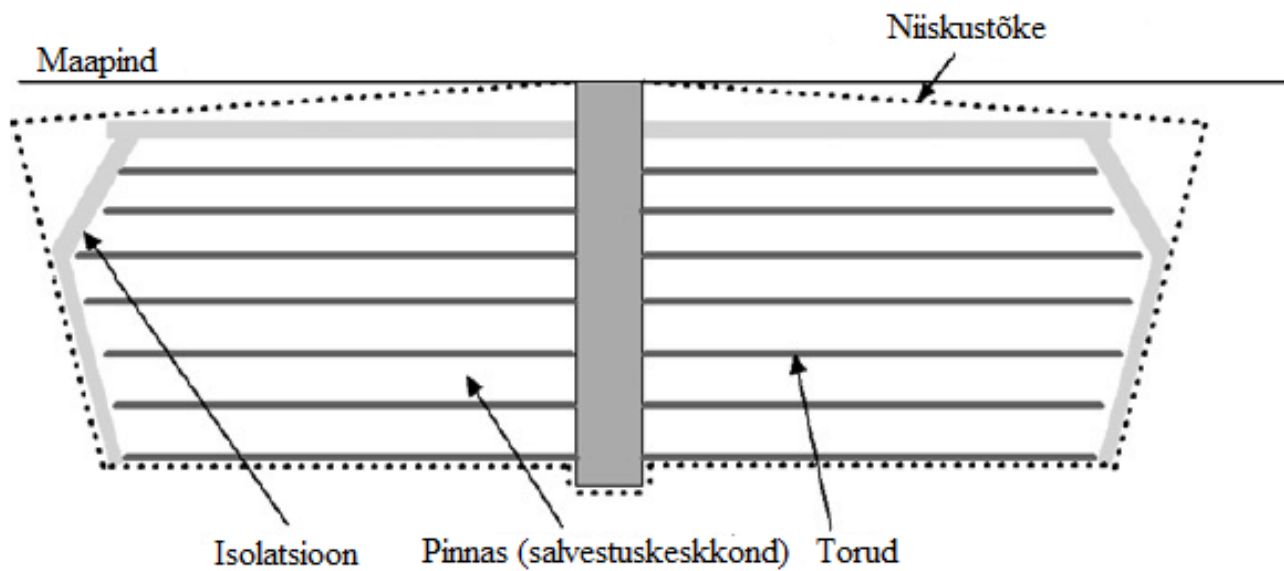
### Joonis 11 Kivikihti salvestamise põhimõte<sup>73</sup>

<sup>72</sup> Y.M. Han, Y.M., R.Z. Wang, R.Z., Y.J. Dai, Y.J. (2009). Thermal stratification within the water tank. – Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13 (2009) , 1014--1026.

<sup>73</sup> P. Pinel, P., C.A. Cruickshank, C.A., I.Beausoleil-Morrison, I., A. Wills, A. (2011). A review of available methods for seasonal storage of solar thermal energy in residential applications. – Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, (2011) 3341–3359.



Joonis 12 Drake Landing Solar Community hooajaline sojussalvesti<sup>74</sup>



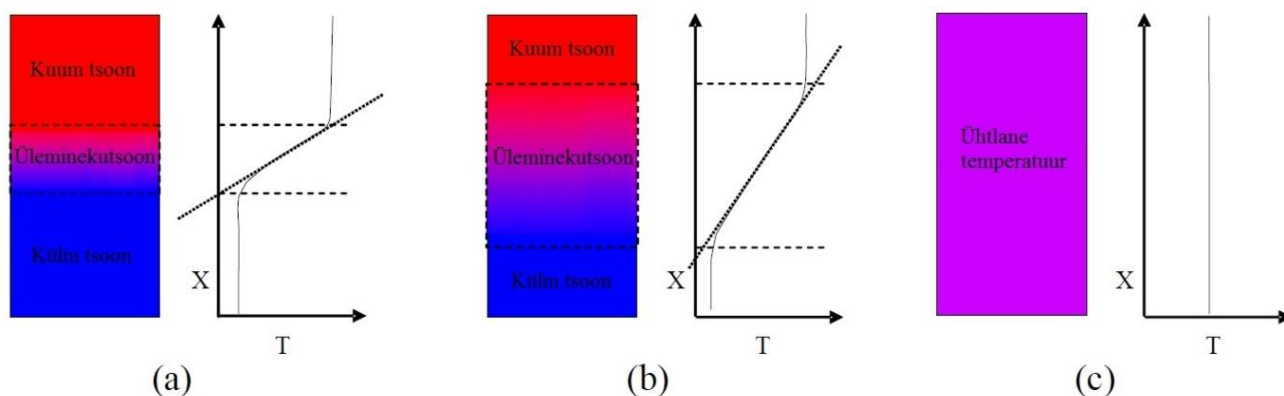
<sup>74</sup> Drake Landing Solar Community. Borehole thermal energy storage (BTES). <http://www.dlsc.ca/borehole.htm>.

### Joonis 13 Vaulruz süsteem <sup>75</sup>

Õlisid kasutatakse samuti energiat salvestava ainena. Õli on kallim kui vesi ja seda kasutatakse, kui soovitakse kõrgemaid temperatuure. Igasuguseid plokkse, plaate jne, mis on tehtud erinevatest materjalidest nagu betoon, grafiit; raua ja rauaoksiidist tehtud pelletteid, palle jne saab samuti kasutada faasimuutuseta energia salvestamisel salvestava keskkonnana. Samas on sellised lahendused kallimad võrreldes kivi, pinnase või vee kasutamisega. Teisest küljest võimaldavad nad rakendada kõrgemaid temperatuure.

### Kihistumisega salvestamine

Faasimuutuseta salvestamisel on üheks oluliseks aspektiks nn temperatuuriline kihistumine (Joonis 14). Kihistumine aitab tõsta nn energiakvaliteeti (eksergiat). Kihistumine suurendab salvestist kasutatavat energiat võrreldes kihistumata olukorraga, mis tuleneb soojusülekaneks vajalikust temperatuuride vahe erinevustest (**Tõrge! Ei leia viiteallikat.**).

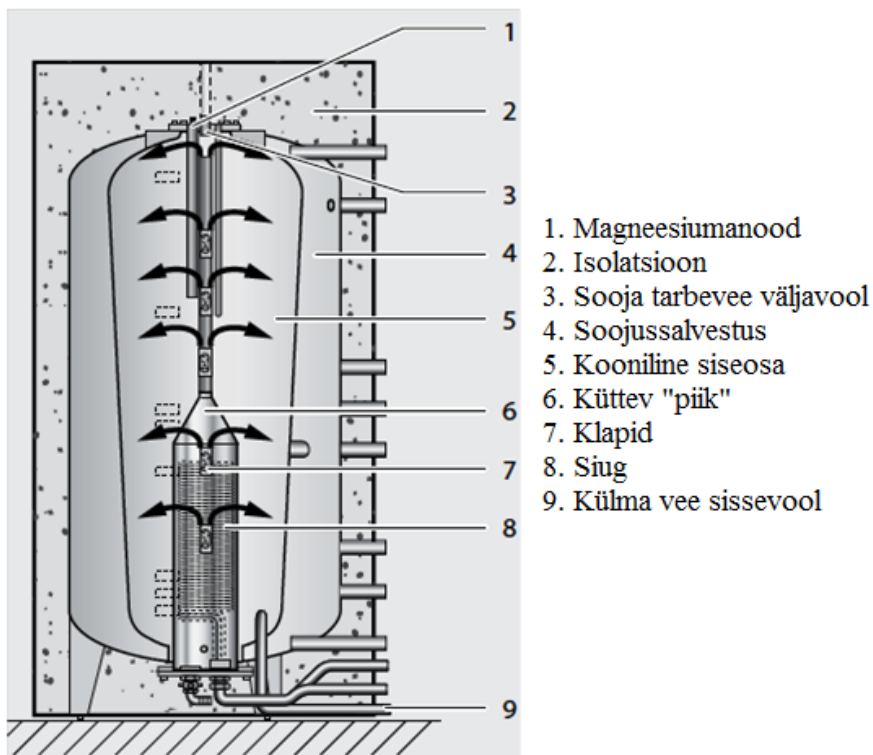


Joonis 14 Kihistumise erinevad tasemed: a) hästi kihistunud, b) keskmiselt kihistunud, c) segatud (mittekihistunud) <sup>76</sup>

Joonis 15 illustreerib ühte võimalikku kihilise salvesti konstruktsiooni.

<sup>75</sup> P. Chuard, P., D. Chuard, D., J. Van Gilst, van J., J.C. Hadorn, J.C., C. Mercier, C. (1983). IEA Task VII Swiss project in Vaulruz – design and first experiences. – In: International conference on subsurface heat storage in theory and practise., 1983.

<sup>76</sup> Cruickshank, C.A. (2009). Evaluation of a stratified multi-tank thermal storage for solar heating applications :. PhD Thesis., Queens University, Canada, 2009



Joonis 15 Kihilise salvesti üks konstruktsioone<sup>77</sup>

### 5.3.2. Faasimuutusega salvestamine

Energia salvestamisel võib esineda ka energiat salvestava (salvestusagensina kasutatava) aine faasimuutus. Teisiti öeldes: faasimuutusega salvestamine põhineb mingi aine faasimuutusel, st salvestamisel muutub aine agregaatolek nt tahkest vedelaks ning salvestatud energia eemaldamisel toimub vastupidine protsess. Nt vedelas olekus sulatatud sool sisaldab rohkem soojust massi kohta kui tahkes olekus sool. Faasimuutusega materjali korral avaldub salvestatud energia valemiga (5.2):

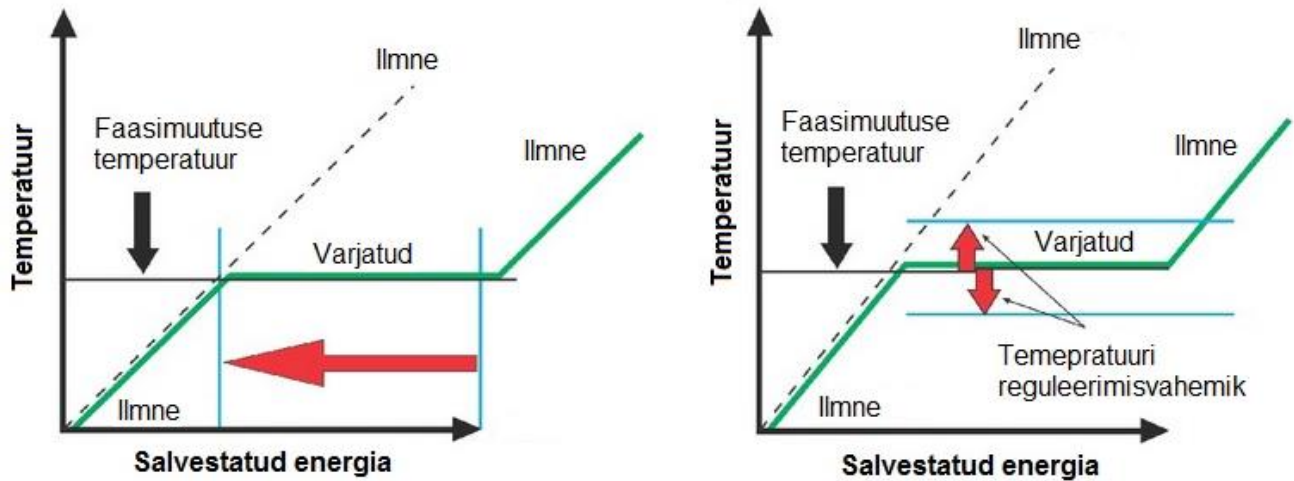
$$Q = m * c_{p(t)} * (T_s - T_1) + m * L + m * c_{p(v)} * (T_2 - T_s) \quad (5.2)$$

kus  $m$  on aine mass, [kg];  $c_{p(t)}$  on isobaarne erisoojus tahkes olekus, [J/(kg\*K)];  $T_s$  on aine sulamistemperatuur, [K];  $T_1$  on aine algtemperatuur, [K];  $L$  on aine sulamissoojus, [J/kg];  $c_{p(v)}$  on isobaarne erisoojus vedelas olekus, [J/(kg\*K)];  $T_2$  on aine lõpptemperatuur, [K].

Joonis 16 illustreerib ilmset ja varjatud soojust energia faasimuutuseta ja faasimuutusega salvestamisel. Materjali sulamisel esineb teatud materjalimahu muutus, mis üldjuhul ei ole suurem kui 10%. Faasimuutusel on rõhu muutus väike ja seetõttu võime rääkida faasimuutusest püsival

<sup>77</sup> Buderus.

temperatuuril. Kui faasimuutus on lõppenud, nt tahke aine on muutunud vedelaks, siis edaspidi jätkub energia salvestamine ilmse soojusena.



Joonis 16 Ilmse ja varjatud soojuse illustatsioon<sup>78</sup>

Faasimuutusega salvestamist peetakse paremaks kui faasimuutuseta salvestamise viisi tänu suuremale salvestusvõimele sama massi/mahu ühiku kohta<sup>79</sup> ehk suuremale energiatihedusele.<sup>80</sup> Tavaliste faasimuutuseta energia salvestamise viisidega võrreldes vajavad faasimuutusega salvestussüsteemid sama energiahulga salvestamiseks väiksemat mahtu ja massi. Uuringud on näidanud, et nt kaljupinnasega võrreldes vajab Parafiin 116 Wax (P116-Wax) 7 korda, meditsiiniline parafiin 5 korda ja  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  8 korda väiksemat salvestava aine massi.<sup>81,82</sup>

Faasimuutusega salvestamise korral on võimalik energiat salvestada konstantsel või ligikaudu konstantsel temperatuuril, mis vastab materjali faasimuutuse temperatuurile. Faasimuutusega materjalide üheks puuduseks on madal soojusjuhtivustegur, mille tõttu on energia salvestamise (salvesti täislaadimise) kui ka salvestatud energia tarbimise (salvesti tühjaks laadimise) protsess

<sup>78</sup> <http://www.rgees.com/technology.php>

<sup>79</sup> A.A. Al-Abidi, A.A., S.B. Mat, S.B., K. Sopian, K, M.Y. Sulaiman, M.Y., C.H. Lim, C.H. , A. Th, A. (2012). . Review of thermal energy storage for air conditioning systems. – Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, (2012) 5802--5819.

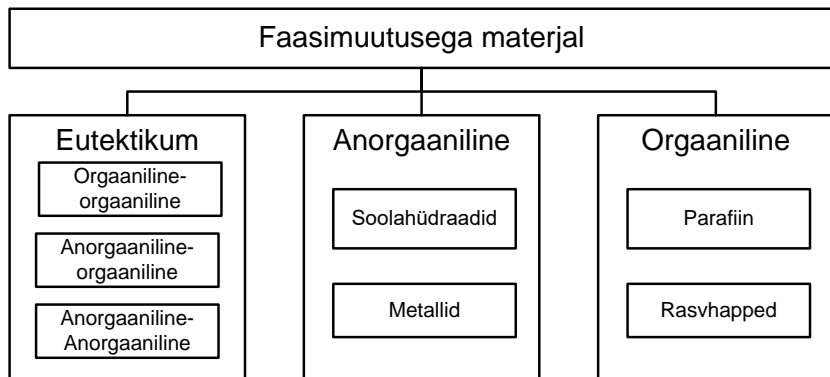
<sup>80</sup> F. Agyenim, F., N. Hewitt, N., P. Eames, P, M. Smyth, M. (2010). A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS). – Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, (2010) 615--628.

<sup>81</sup> D.J. Morrison, D.J., S.I. Abdel-Khalik, S.I.. (1978). Effects of phase-change energy storage on the performance of air-based and liquid-based solar heating systems. – Solar Energy, 20, (1978) 57--67.

<sup>82</sup> A.A. Ghoneim, A.A. (1989). Comparison of theoretical models of phase-change and sensible heat storage for air and water-based solar heating systems. – Solar Energy, 42 (1989), 209--220.

suhteliselt aeglane.<sup>83</sup> Parafiinivahadel on soojusjuhtivustegur näiteks  $0,2 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ <sup>84</sup> ning soolahüdraatidel ja eutektikumidel  $0,5 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ .<sup>85</sup>

Faasimuutusega materjale jaotatakse kolme gruppi: orgaanilised, anorgaanilised ja eutektikumid (Joonis 17). Tänapäeval uuritakse materjale mikro- ja nanoosakeste tasemel, et parendada soojusülekanne ja koos sellega salvestamissüsteemi efektiivsust.



Joonis 17 Faasimuutusega materjalide klassifikatsioon<sup>86</sup>

**Parafiin** on vahataoline aine, mis koosneb mitmest hargnemata ahelas (lineaarahelas) olevast  $n$ -arvust alkaanist:  $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)-CH}_3$ .  $(\text{CH}_3)$ -ahela kristalliseerumisel eraldub nn varjatud soojust ehk latentset soojust ehk faasimuutuse soojust. Arvestades maksumusi, siis ainult tehnoloogilised parafiinid on praktikas kasutatavad energia salvestamiseks.<sup>87</sup>

**Rasvhapete** sulamis- ja tahkumistemperatuurid on parafiinidest kõrgemad. Üldine rasvhappe valem on  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}\text{-COOH}$ . Rasvhapete suurimaks puuduseks on nende maksumus, st nad on 2 – 2,5 korda kallimad võrreldes tööstuslike parafiinidega.

**Soolahüdraate** võib vaadelda kui soola ja vee sulameid, mis moodustavad kristallilise tahke aine. Üldine soolahüdraate iseloomustav keemiline valem on  $\text{AB}\cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Soolahüdraatide peamiseks probleemiks on inkongruentne sulamine<sup>88</sup> ja vajadus täiendava jahutuse järele tahkestumise tagamiseks.

<sup>83</sup> F. Agyenim, F., N. Hewitt, N., P. Eames, P, M. Smyth, M. (2010). A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS). – Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, (2010) 615–628.

<sup>84</sup> F. Agyenim, F., N. Hewitt, N., P. Eames, P, M. Smyth, M. (2010). A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS). – Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, (2010) 615–628.

<sup>85</sup> D. Zhou, D., C.Y. Zhao, C.Y., Y. Tian, Y. (2012). Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. – Applied Energy, 92, (2012) 593–605.

<sup>86</sup> D. Zhou, D., C.Y. Zhao, C.Y., Y. Tian, Y. (2012). Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. – Applied Energy, 92, (2012) 593–605.

<sup>87</sup> A. Sharma, A., V.V. Tyagi, V.V., C.R. Chen, C.R., D. Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. – Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, (2009) 318–345.

<sup>88</sup> Inkongruentne sulamine on sulamine, mille käigus tekkinud vedeliku koostis erineb algse tahke aine koostisest.



**Metallide** korral kasutatakse madala sulamistemperatuuriga metalle ja metallieutektikume. Metallide eeliseks on kõrge soojusjuhtivus, kuid tänu suhteliselt suurele massile ja sellest tulenevale kasutusvõimaluste piiratusle ei ole neid laialdaselt uuritud.

**Eutektikumid** on kahest või rohkemast komponendist koosnev aine, mille iga komponent sulab ja tahkestub kongruentselt<sup>89</sup>, moodustades kristalliseerumisel komponentide kristallide segu.

Faasimuutusega materjalide eelistamise põhilised kriteeriumid on järgmised:

- omab sulamistemperatuuri soovitud töötemperatuuri vahemikus;
- omab massiühiku kohta kõrget faasimuutuse soojushulka, et väiksema materjalikogusega oleks võimalik salvestada võimalikult palju energiat;
- omab kõrget materjali erisoojust, et lisaks faasimuutusega salvestamisele oleks võimalik salvestada energiat otse nn ilmse soojuse kaudu;
- on kõrge soojusjuhtivusega, et temperatuurigradiend salvestamisel ning salvestatud energia kasutamisel oleks minimaalne,;
- vähene mahumuutus faasimuutusel, et oleks võimalik kasutada lihtsa konfiguratsiooniga seadmeid;
- omab vähest vajadust lisajahutuse järele jahtumiseks või jahutusvajadus puudub;
- on keemiliselt stabiilne, ei lagune ja ei mõju materjalidele korrodeeruvalt;
- ei sisalda mürgiseid, põlevaid ega plahvatusohtlikke ühendeid;
- on saadaval madala hinnaga ja piisavalt suurtes kogustes.

Enimkasutatavate faasimuutusega materjalide soojusfüüsikalisi omadusi illustreerib Joonis 18. Tabelist on näha, et enamik materjale omab faasimuutust vahemikus 0 °C–65 °C, mis on sobilik sooja tarbevee ja jahutuse rakendustes energia salvestamiseks.

*Joonis 18 Faasimuutusega materjalide soojusfüüsikalisi omadusi<sup>90</sup>*

Ühend	Sulamis- temperatuur, T <sub>s</sub> (°C)	Sulamis- soojus, L (kJ/kg)	Erisoojus, c <sub>p</sub> (kJ/(kgK))	Soojusjuhtivus, λ (W/(mK))	Tihedus, ρ (kg/m <sup>3</sup> )
Vesi-jää	0	335	4,2 (vedel) 2,05 (tahke)	0,55 (vedel) 2,2 (tahke)	1000 (vedel) 917 (tahke)
RT25-RT30	26,6	232,0	1,80 (vedel) 1,41 (tahke)	0,18 (vedel) 0,19 (tahke)	749 (vedel) 785 (tahke)
n-oktadekaan	27,7	243,5	2,66 (vedel) 2,14 (tahke)	0,148 (vedel) 0,190 (tahke)	785 (vedel) 865 (tahke)
CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	29,9	187	2,2 (vedel) 1,4 (tahke)	0,53 (vedel) 1,09 (tahke)	1530 (vedel) 1710 (tahke)
Parafiinivaha	32...32,1	251	3,26 (vedel) 1,92 (tahke)	0,224 (vedel) 0,514 (tahke)	830
Polüetüleenglükool 900 (PEG 900)	34	150,5	2,26 (vedel) 2,26 (tahke)	0,188 (vedel) 0,188 (tahke)	1100 (vedel) 1200 (tahke)

<sup>89</sup> Tavalise ehk kongruentse sulamise korral muutub tahke aine sama koostisega vedelikuks ja vastupidi.

<sup>90</sup> F. Agyenim, F., N. Hewitt, N., P. Eames, P., M. Smyth, M. (2010). A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS). – Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, (2010) 615–628.

Laurhape	41...43	211,6	2,27 (vedel) 1,76 (tahke)	1,6	862 (vedel) 1007 (tahke)
Meditisiiniline parafiin	40...44	146	2,3 (vedel) 2,2 (tahke)	2,1 (vedel) 0,5 (tahke)	830
P116-vaha	46,7...50	209	2,89 (vedel) 2,89 (tahke)	0,277 (vedel) 0,140 (tahke)	786
Parafiin RT60/RT58	55...60	214,4...232	0,9	0,2	775 (vedel) 850 (tahke)
RT100	99	168	2,4 (vedel) 1,8 (tahke)	0,2 (vedel) 0,2 (tahke)	770 (vedel) 940 (tahke)
MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	116,7	168,6	2,61 (vedel) 2,25 (tahke)	0,570 (vedel) 0,704 (tahke)	1450 (vedel) 1570 (tahke)
Erütritool	117,7	339,8	2,61 (vedel) 2,25 (tahke)	0,326 (vedel) 0,733 (tahke)	1300 (vedel) 1480 (tahke)
NaNO <sub>3</sub>	310	172	1,82	0,5	2260
KNO <sub>3</sub>	330	266	1,22	0,5	2110
NaOH	318	165	2,08	0,92	2100
KOH	380	149,7	1,47	0,5	2044
ZnCl <sub>2</sub>	280	75	0,74	0,5	2907

Joonis 19 annab ülevaate kommertskasutuses olevatest materjalidest.

*Joonis 19 Kommertskasutuses olevad faasimuutusega materjalid<sup>91</sup>*

Materjal	Sulamis- temperatuur, T <sub>s</sub> (°C)	Sulamis-soojus, L (kJ/kg)	Eri-soojus, c <sub>p</sub> (kJ/(kgK))	Soojus- juhtivus, λ (W/(mK))	Tootja
RT 20	22	172	-	-	Rubitherm GmbH
RT 25	25	147	2,9 (tahke) 2,1 (vedel)	1,02 (tahke) 0,56 (vedel)	Rubitherm GmbH
RT27	26-28	179	1,8 (vedel) 2,4 (tahke)	0,2	Rubitherm GmbH
STL 27	27	213	-	-	Mitsubishi Chemicals
Climsel C23	23	148	-	-	Climator
Climsel C24	24	216	-	-	Climator
S27	27	190	1,5 (tahke) 2,22 (vedel)	0,79 (tahke) 0,48 (vedel)	Cristopia
TH 29	29	188	-	-	TEAP
SP 22 A 17	22	150	-	0,6	Rubitherm GmbH
SP 25 A 8	25	180	2,5	0,6	Rubitherm GmbH

<sup>91</sup> D. Zhou, D., C.Y. Zhao, C.Y., Y. Tian, Y. (2012). Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. – Applied Energy, 92, (2012) 593–605.

SP 29	29	157	-	0,6	Rubitherm GmbH
-------	----	-----	---	-----	----------------

### Faasimuutusega materjalide soojusülekanne parendamine

Selleks, et kiirendada faasimuutusega materjalide soojuse ülekandmise protsessi, kasutatakse erinevaid lahendusi soojusjuhtivuse parendamiseks:

- ribitatud pindade kasutamine;
- erinevatest materjalidest (grafiit, ränikarbiid (SiC), nikliga pinnatud vasekerad) mikrokapslite lisamine;
- terasest või roostevabast terasest valmistatud metallstruktuurid;
- kõrge soojusjuhtivusega materjalide (vask, hõbe, alumiinium) osakeste dispergeerimine;
- kõrge soojusjuhtivusega ja madala tihedusega materjalide kasutamine (süsinikkiudude ja parafiini komposiitmaterjal);
- kõrge soojusjuhtivusega poorsete materjalide impregneerimine (grafiit).

Joonis 19 annab ülevaate mõningatest viisidest, mida on uuritud faasimuutusega salvestamisel soojusülekanne parendamiseks.

#### 5.3.3. Energia salvestamine keemiliste protsessidega

Energia salvestamise keemiliselt võib jagada keemilistel reaktsioonidel põhinevaks ja termokeemiliseks (sorptsioon<sup>92</sup>) protsessiks.<sup>93</sup> Faasimuutusega salvestamisega ei ole keemiliste protsessidega salvestamine tänapäeval tehnilis-majanduslikult võrreldav. Sellegipoolest vaadeldakse seda kui ühte võimalikku salvestamise viisi.

#### **Keemilised reaktsioonid**

Keemiline salvestamine eeldab, et salvestamise eelduseks olevad keemilised reaktsioonid on täielikult pöörduvad. Salvestamisel antakse salvestisse soojust, mille tagajärjel toimuvad endotermilised<sup>94</sup> reaktsioonid. Kui reaktsioon on täielikult pöörduv, siis eksotermilise<sup>95</sup> reaktsiooni käigus vabaneb soojust. Enamasti vajatakse viimaste protsesside läbiviimiseks katalüsaatorit.<sup>96</sup> Katalüsaatori kasutamine on kasulik ka protsessi kontrollimise eesmärgil.

**Tõrge! Ei leia viiteallikat.** illustreerib ühte võimalikku keemilise salvestuse võimalust. Keemiline reaktsioon, mida kasutatakse, on järgmine (5.3):

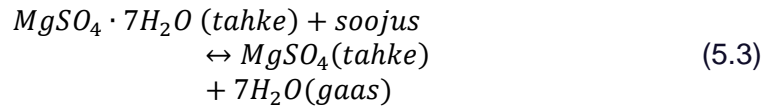
<sup>92</sup> Sorptsioon (ka sorbeerumine, sorbeerimine) on gaasi, vedeliku või mõne nende komponendi neeldumine vedelikus või tahkes aines või kogunemine tahke aine pinnale.

<sup>93</sup> C. Bales, C., P. Gantenbein, P., D. Jaenig, D., H. Kerskes, H., K. Vissler, K. (2008). Final report of subtask B – chemical and sorption storage. Report B7-IEA SHC Task 32 .. International Energy Association, 2008..

<sup>94</sup> Keemilised reaktsioonid, mis vajavad kulgemiseks soojust väljastpoolt juurde.

<sup>95</sup> Keemilised reaktsioonid, mille esinemisel eraldub protsessi käigus soojust.

<sup>96</sup> Katalüsaator on aine, mis kiirendab/aitab läbi viia mingit keemilist reaktsiooni, kuid pärast reaktsiooni vabaneb endises koguses.



Keemiliselt energia salvestamiseks võimalikest viisidest annab ülevaate allolev tabel (Joonis 20).

*Joonis 20 Keemiliselt energia salvestamise võimalikud variandid<sup>97</sup>*

Materjal	Dissotsiatsioonireaktsioon	Salvestustihedus (GJ/m <sup>3</sup> )	Muundumis-temperatuur (°C)
Magneesiumsulfaat	$MgSO_4 \cdot 7H_2O \rightarrow MgSO_4(t) + 7H_2O$	2,8	122
Ränioksiid	$SiO_2 \rightarrow Si + O_2$	37,9	150
Raudkarbonaat	$FeCO_3 \rightarrow FeO + CO_2$	2,6	180
Raudhüdroksiid	$Fe(OH)_2 \rightarrow FeO + H_2O$	2,2	150
Kaltsiumsulfaat	$CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightarrow CaSO_4 + 2H_2O$	1,4	89

---

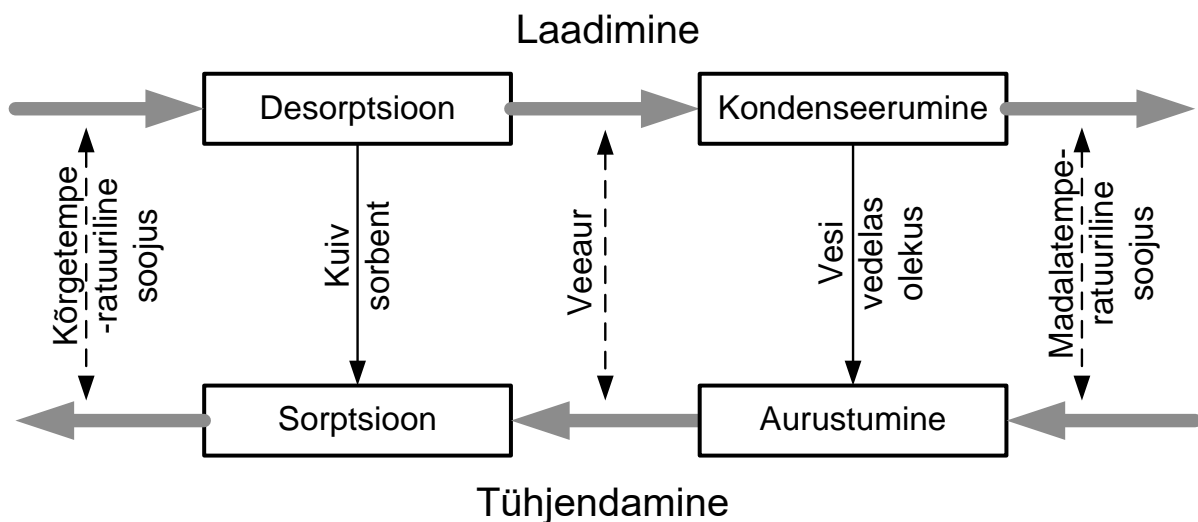
<sup>97</sup> Bales, C., Gantenbein, P., Hauer, A., Henning, H.-M., Jaenig, D., Kerskes, H. *et al.* (2005). Thermal properties of materials for thermo-chemical storage of solar heat. Report B2-IEA SHC Task 32 : International Energy Association.



Joonis 22 Võimalikud sorptsioonivõimalused<sup>101</sup>

Absorptsioon	Adsorptsioon	Tahke-gaas reaktsioon
NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O (0,40 GJ/kg)	H <sub>2</sub> O-zeoliit 4A (0,08 GJ/kg)	H <sub>2</sub> O-Na <sub>2</sub> S (1,27 GJ/kg)
H <sub>2</sub> O-NaOH (1,00 GJ/kg)	H <sub>2</sub> O – ränigeel (0,14 GJ/kg)	H <sub>2</sub> O-MgCl <sub>2</sub> (0,84 GJ/kg)
		H <sub>2</sub> O-CaCl <sub>2</sub> (0,98 GJ/kg)
		H <sub>2</sub> O-LiCl (0,71 GJ/kg)

Suletud ringiga sorptsiooni põhimõttel energia salvestamisel (Joonis 23) toimub väliskeskkonnaga soojusvahetus, mille tulemusena laadimise faasis sorbaat (vesi) kondenseeritakse. Tühjaks laadimise faasis aga aurustatakse. Aurustumisprotsess vajab madalatemperatuurilist soojust ( $\geq 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ), et tühjaks laadimise faasis vesi aurustada. Selline madalatemperatuuriline soojus on võimalik saada hoone jahutamisel, välisõhust või teiselt „tasuta” allikalt. Eksotermilise protsessi käigus eraldunud soojust saab kasutada hoone kütmiseks. Seega saab ka seda energia salvestamise viisi kasutada nii kütmiseks kui jahutamiseks.



Joonis 23 Suletud ringiga sorptsioonipõhine salvestamine<sup>102</sup>

<sup>101</sup> Bales, C., Gantenbein, P., Hauer, A., Henning, H.-M., Jaenig, D., Kerskes, H. *et al.* (2005). Thermal properties of materials for thermo-chemical storage of solar heat. Report B2-IEA SHC Task 32 : International Energy Association.

<sup>102</sup> C. Bales, C., P. Gantenbein, P., D. Jaenig, D., R. Weber, R. (2007).. Laboratory prototypes of thermo-chemical and sorption storage units. Report B3-IEA SHC Task 32 : International Energy Association, 2007..