



ENERGEETIKA UURINGUTEST JA ARENDUSTEST IDA-VIRUMAAL

Argo Rosin (täisprofessor tenuuris)

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut & Virumaa Kolledž
Tallinna Tehnikaülikool

**ENERGIAPOLIITIKA ILMA TARGALT
JUHITUD ENERGIATA ON NAGU
TUULEPARK ILMA TUULETA**

**SELGITAD LIHTSALT, EI VÕETA TÕSISELT.
RÄÄGID KEERULISELT, EI SAADA ARU.
EI SAADA ARU, EI USALDATA.**



MILLEST RÄÄGIME JA MIKS?

Energiapoliitika

- Uuenduslikud suundumused taastuvenergiatehnoloogiates
- Lõppkasutaja energiapaindlikkus: väljakutsed ja võimalused

Talituskindlus

- Pinge- ja töökindlusprobleemidele suunatud lahendused
- Modelleerimise abil probleemidele lahenduste leidmine

Tehnoloogia ja ärimudelite arendus

- Uued elektrivõrgu tasakaalustamise võimalused
- Uus meetod agregeeritud energiapaindlikkuse hindamiseks
- AI ja keelemudelite kasvav tähtsus energeetikas

Väiksemad riskid ja kulud arendusele

- Andmete kvaliteet
- Sobiv taristu arendustöök
- Väärtuspakkumine ettevõtetele

Energiapoliitika

UUENDUSLIKUD SUUNDUMUSED TAASTUVENERGEETIKAS



Small-Scale Distributed Generation



Large-Scale Land Versatility



Accessing Marine Renewables

- Kõrge küpsusastmega tehnoloogiad on madala konkurentsivõimega.
- **Tänased tehnoloogiad jäävad ka lähitulevikus kuluefektiivsemateks**

Perspektiivseks hinnatud tegevused/lahendused :

- ✓ diagnostika ja hoolduse meetodid, seadmete arendus
- ✓ komponentide 3D-printimine
- ✓ nutivõrku integreerimine ja kasutamine



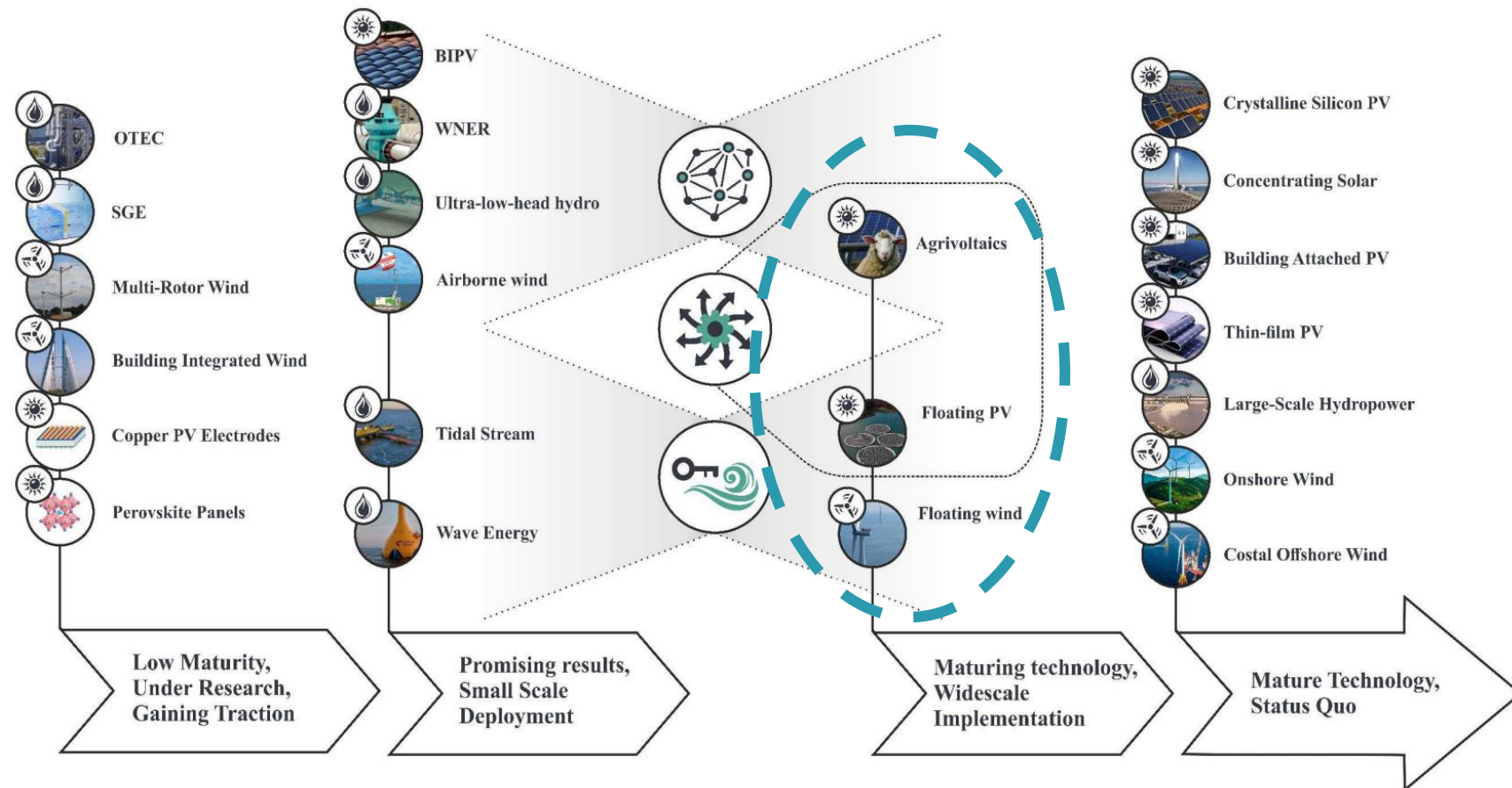
Solar Power



Hydropower



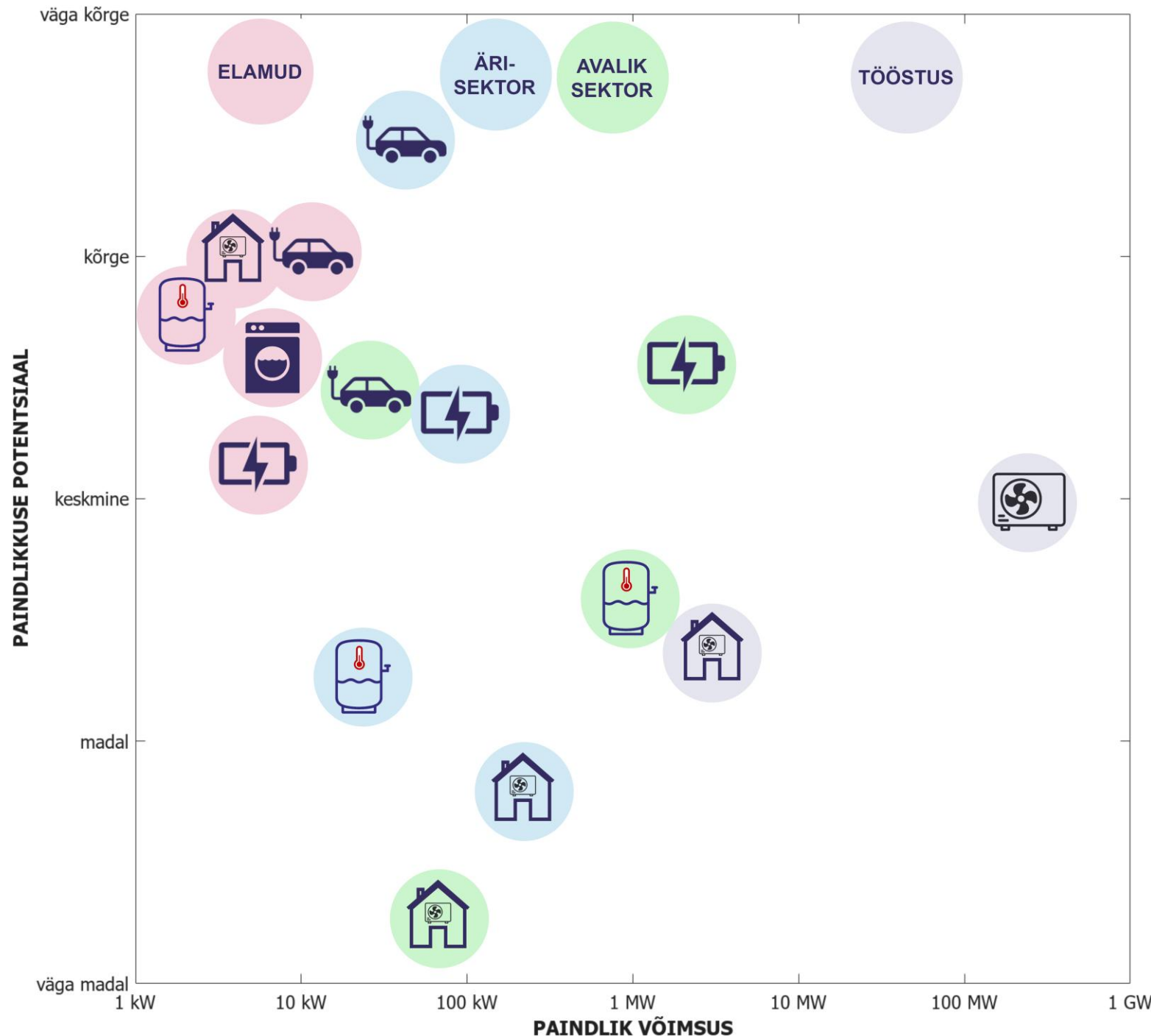
Wind Power



ELEKTRIPAINDLIKKUSE ALLIKATE POTENTSIAAL

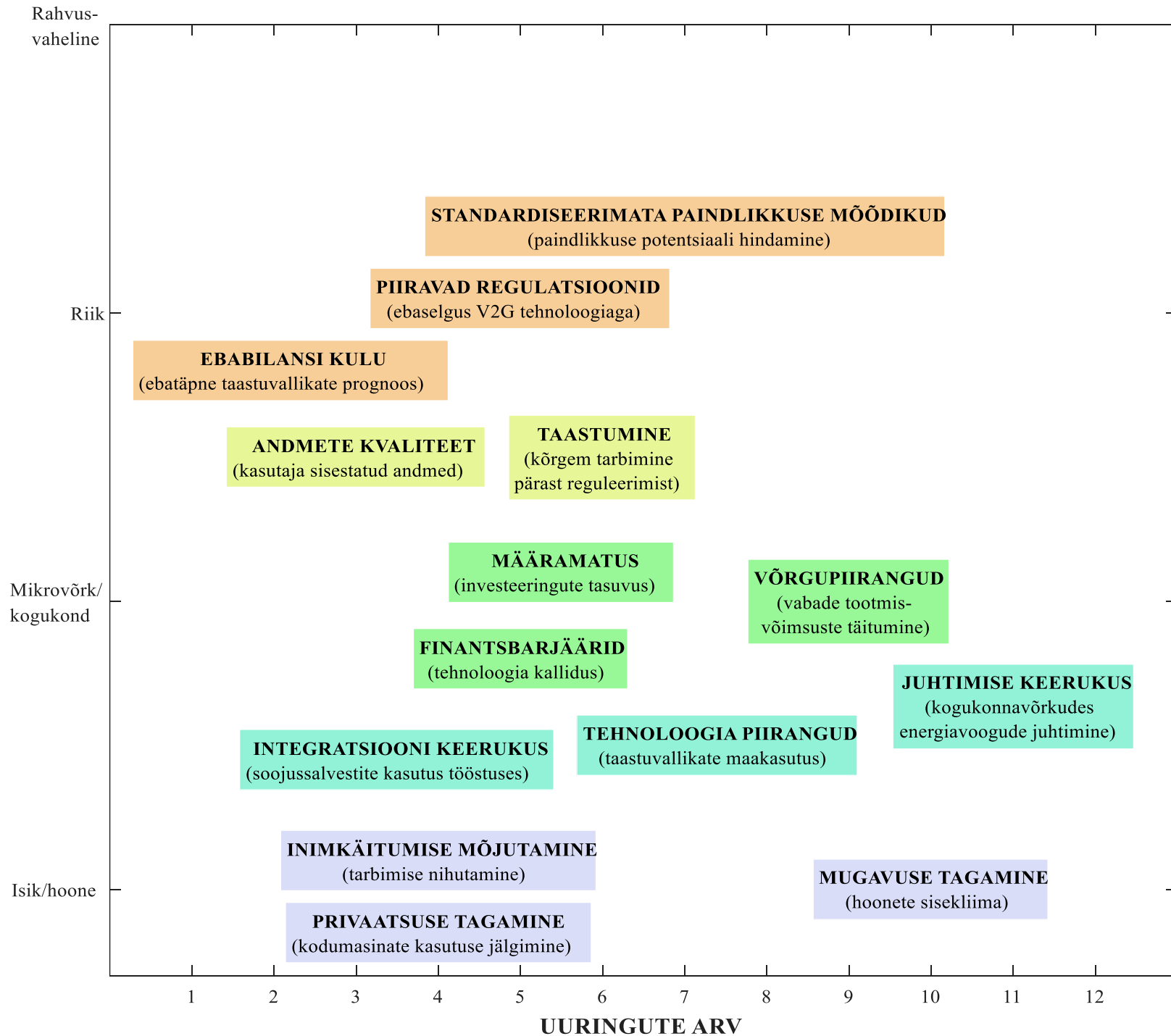
- Läbi erinevate sektorite *:
 - ↑ suurim elektriautodel ja akudel
 - ↓ madalaim kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemidel (KVJ)
- **Elamusektoril** on oluline potentsiaal, kuid väiketarbijate osalemine paindlikkusturgudel on piiratud:
 - võimsuslävend ja muud tehnilised kriteeriumid
 - **sobiva platvormi puudumine**

*Potentsiaali hindamine tugines 60 teadusartiklis käsitletud juhtumiuuringul



PAINDLIKKUSE TEHNOLOOGIATE VÄLJAKUTSED

- **Riigi** tasandil
 - » paindlikkuse mõõdikud
 - » piiravad või puudulikud regulatsioonid
 - » taastumise tagajärjed
- **Mikrovõrgu** või **kogukonna** tasandil
 - » võrgupiirangud
 - » juhtimise keerukus
 - » tehnoloogia piirangud
 - » finantsbarjäärid
- **Hoone & isiku** tasandil kasutajate mugavuse tagamine
- **Isiku** tasemel privaatsuse tagamine



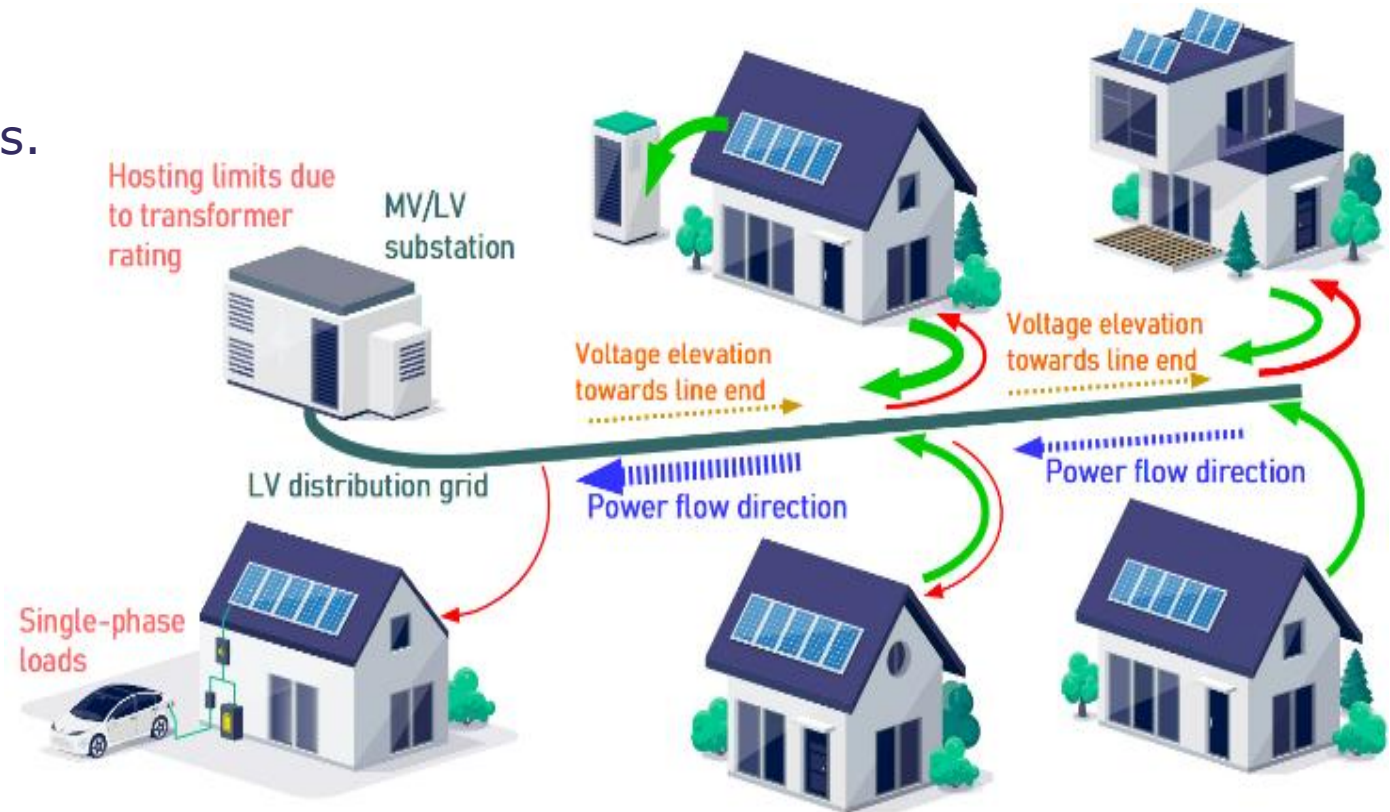
Talituskindlus

PINGE- JA TÖÖKINDLUSPROBLEEMIDE LAHENDUSED JAOTUSVÕRGUS SUURE TAASTUVENERGIA OSAKAALU KORRAL *

Taastuvenergiaallikate integreerimisega seotud väljakutsete ja lahenduste analüüs.

Väljakutsed

- Koormuste ja üheaegsustegurite muutused
- pingekõikumised, kahesuunaline energiavoog, ülekoormus, tootmise ja tarbimise kasvav juhuslikkus



PAINDLIKKUSE SUURENDAMISE JA RAKENDAMISE KASVAV VAJADUS

Probleemid

- üle- ja alapinged
- pingelohud ja -muhud
- toitekatkestused
- värelus ehk flikker

Põhjused

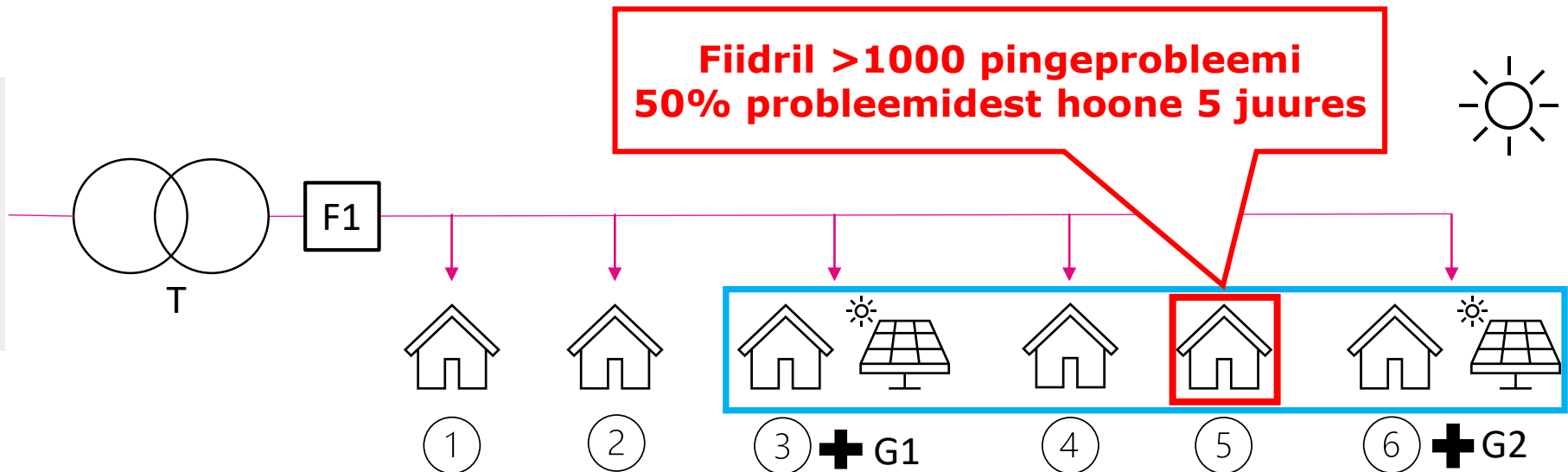
- Tarbimise/tootmise koondumine samasse aega/piirkonda
- Jaotusvõrgu parameetrid, aladimensioneeritud võrk
- Loodusnähtused, avariid

Rakendused

- Prognoosimine, AI
- Tarbimise juhtimine, salvestamine
- Lokaalsed turud, energia jagamine
- Tootmise piiramine, paindlikud liitumised

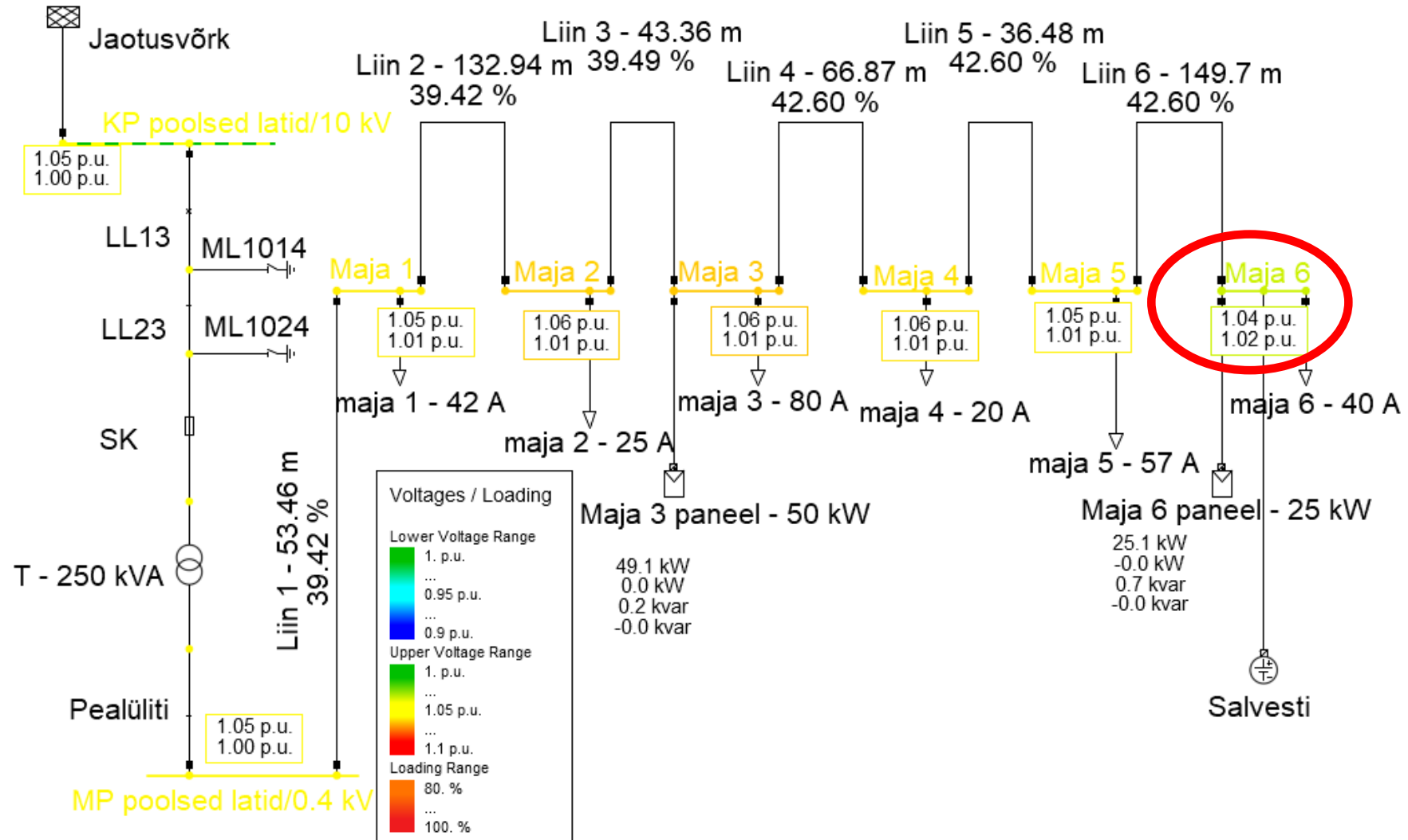


Alajaam



MODELLEERIMISE KASVAV TÄHTSUS

- Salvesti lisamine aitab ära hoida ülepinge
- Optimaalsem asukoht pinge vaates on maja 5
- Optimaalseim asukoht kõigi parameetrite vaates on maja 6



Tehnoloogia & ärimudeli arendus

LEED-REKLAAMEKRAANIDE ENERGIAPAINDLIKKUS

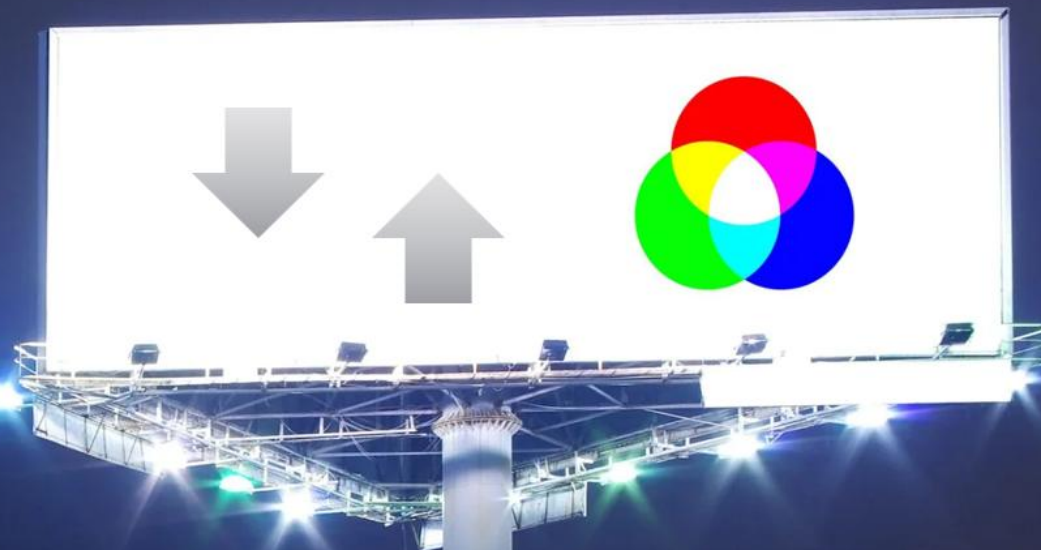
3 kärbest: vähendada valgusreostust, muuta liiklust ohutumaks ning pakkuda elektrivõrgule tasakaalustamist

Uurime

- **seost kuvatavate värvide, heleduse ja ekraani energiatarbe vahel**
- tarbimise reguleerimist, ilma et inimese silm seda ekraanidel tajuks
- **leedekraanide potentsiaali energiapaindlikkuse pakkumiseks**
- reklaamide värviskeemide mõju energiatarbele
- **kas värvsuse ja heleduse juhtimine aitab lisaks elektrivõrgu tasakaalustamisele ka liiklust ohutumaks muuta**

**TAL
TECH**

Tallinnas leed reklaamekraane hoonetes ja välitingimustes kokku >1000kW



Kasusaajad

- Reklaamide ja teabekandjate haldurid
- Elektrivõrgu bilansihaldurid ja agregatorid
- Reklaamide disainerid ja tellijad
- Liiklejad

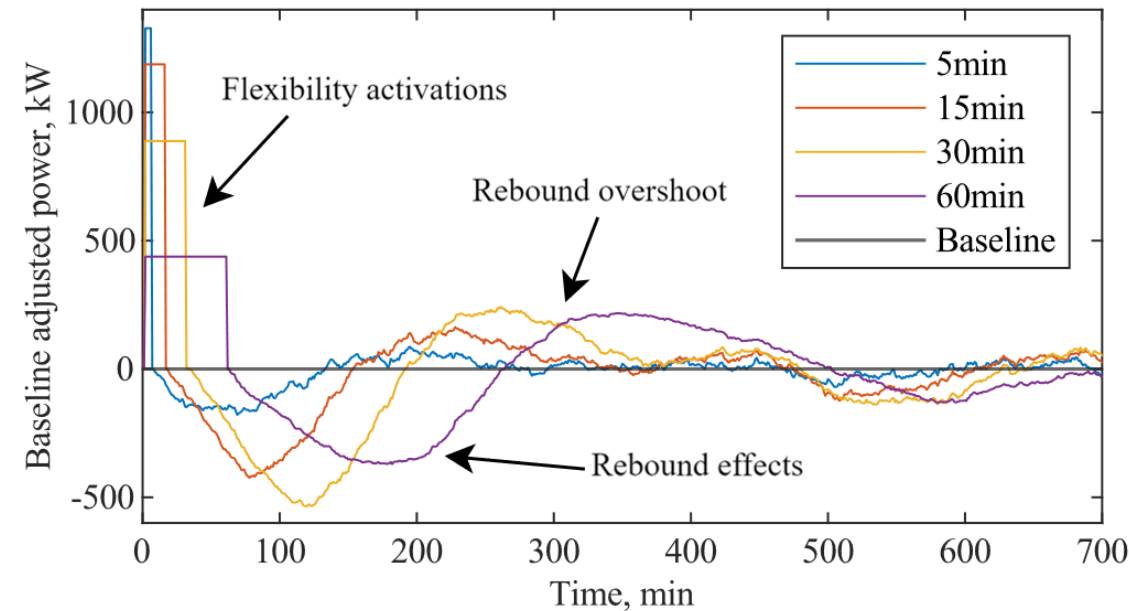
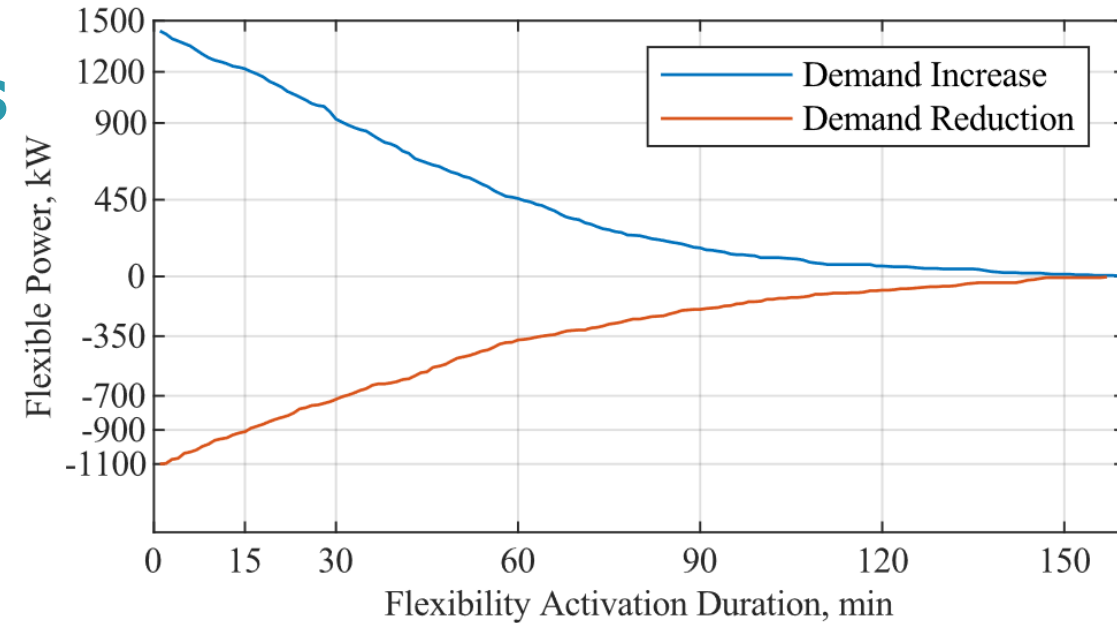
UUS MEETOD AGREGEERITUD ENERGIAPAINDLIKKUSE HINDAMISEKS

Kvantifitseerimismeetod – loob seose paindliku võimsuse ja aktiveerimiskestuse vahel, võimaldades hinnata paindlikkust erinevate turgude jaoks.

- **Aktiveerimisega kaasnevad taastumismõjud**, mille suurus ja kestus sõltuvad valitud ressursist.

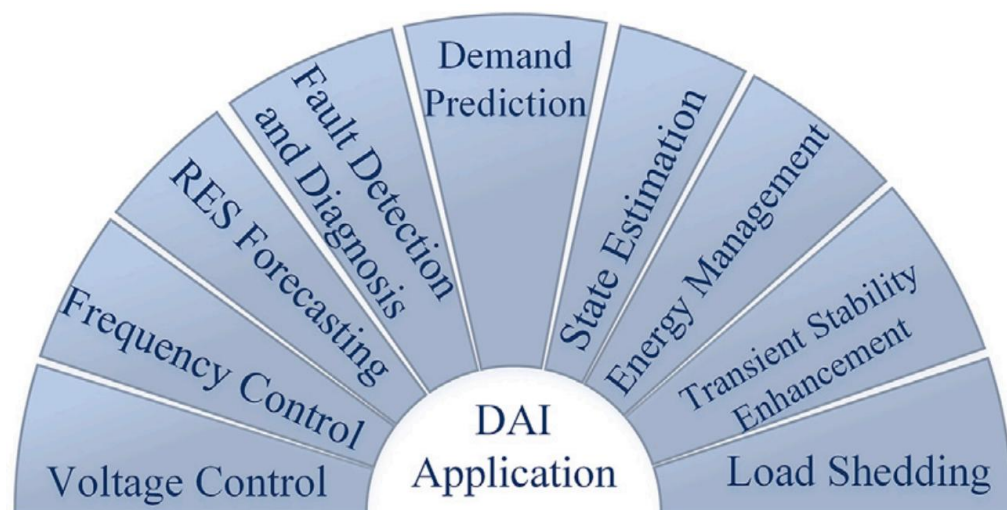
Ettevõtjale (TSO, DSO, agregator)

- **Energiapaindlikkuse täpsem hinnang** turgudel.
- **Lisatulu paindlikkusturgudel** olemasolevate varadega (KVJ, akud, elektriautod, veeboilerid).
- **Suurem konkurentsivõime** läbi tulusama turul osalemise.
- Taastumismõjudega arvestamine – **parem riskijuhtimine** ja süsteemi talitluse planeerimine.



TI MUDELID ELEKTRI KVALITEEDI PARENDAMISEL

- Masinõppe, süvaõppe ja hübriidmudelid võimaldavad tiptasemel häiringute tuvastamist ja prognoosimist.
- AI mudelid saavutavad harmoonilise moonutuse (THD) vähenemise ja kõrge töökindluse elektri kvaliteedi hindamisel.



Ettevõtjale (DSO, TSO, agregator)

- rakendatakse vähe elektri kvaliteedi tagamiseks ja muundurite juhtimiseks
- **Rakendada hajutatud tehisintellekti (DAI) reaajas elektri kvaliteedi parandamiseks**
- Loodi **raamistik operaatoritele elektri kvaliteedi lahenduste võrdlemiseks** ja rakendamise (sh TI) põhjendamiseks.

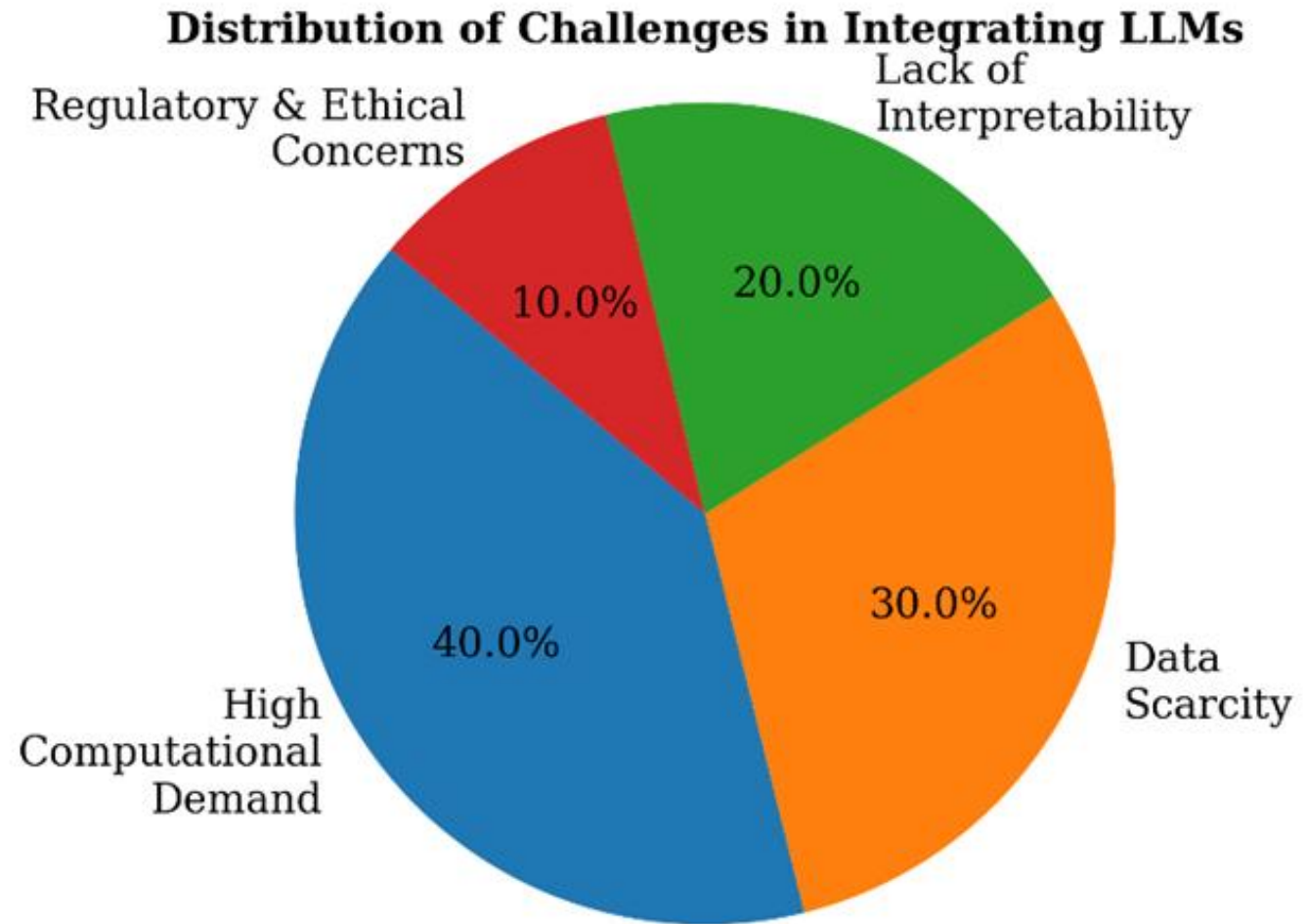
*Analüüs põhines >200 teadusartiklil

TI KEELEMUDELITE ROLLI KASV JA KASU

Keelemudelite rakendused muudavad elektrisüsteemide juhtimist, prognoosimist ja otsuste tegemist tundmatuseni:

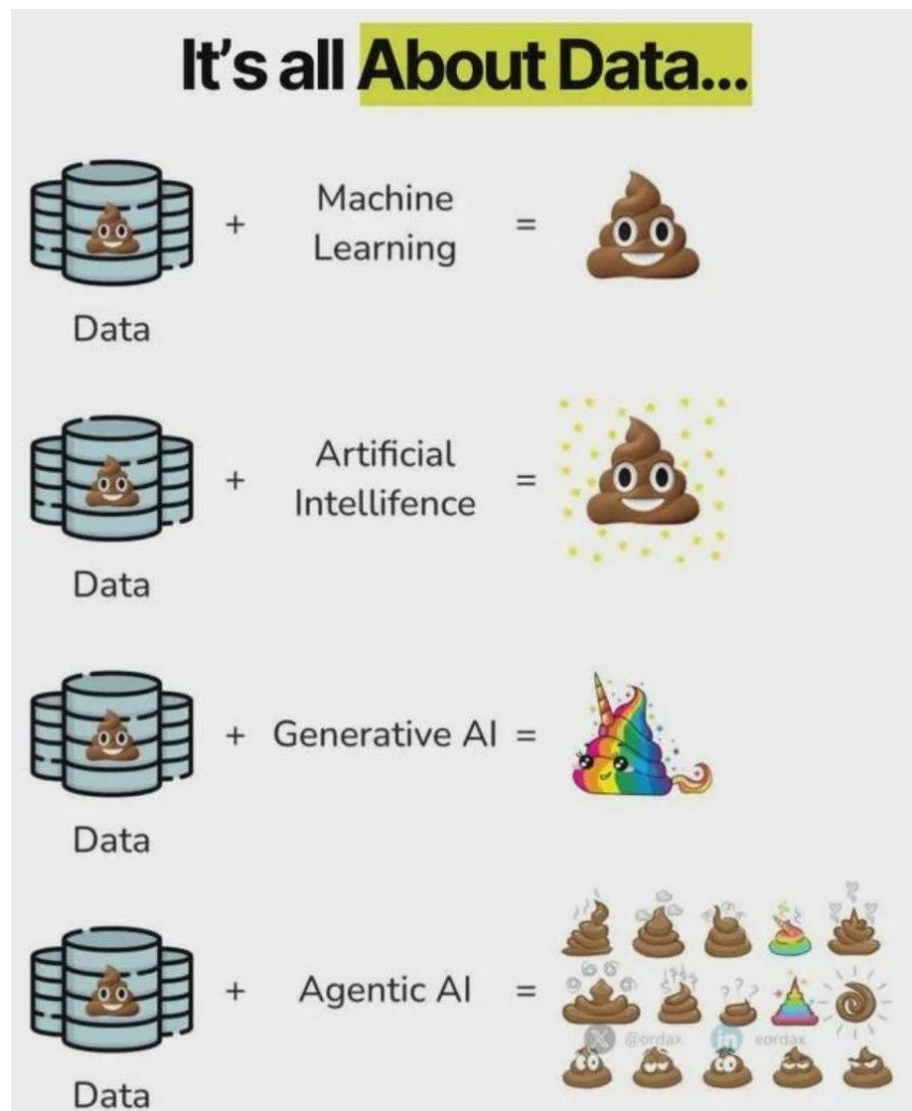
Ettevõtjale (TSO, DSO, agregator)

- Spetsialiseeritud raamistikud (nt Time-LLM) vähendasid ajastamisvigu 15%
- **Koormusprognooside täpsus paraneb >20%**
- **Operatiivsele sündmusele reageerimisaeg väheneb 30%**
- Regulaatiivsete ja normdokumentide käsitsi tegevuste hulk väheneb 40%
- Mudelid on saavutanud küsimustevastuste ülesannetes 92% täpsuse



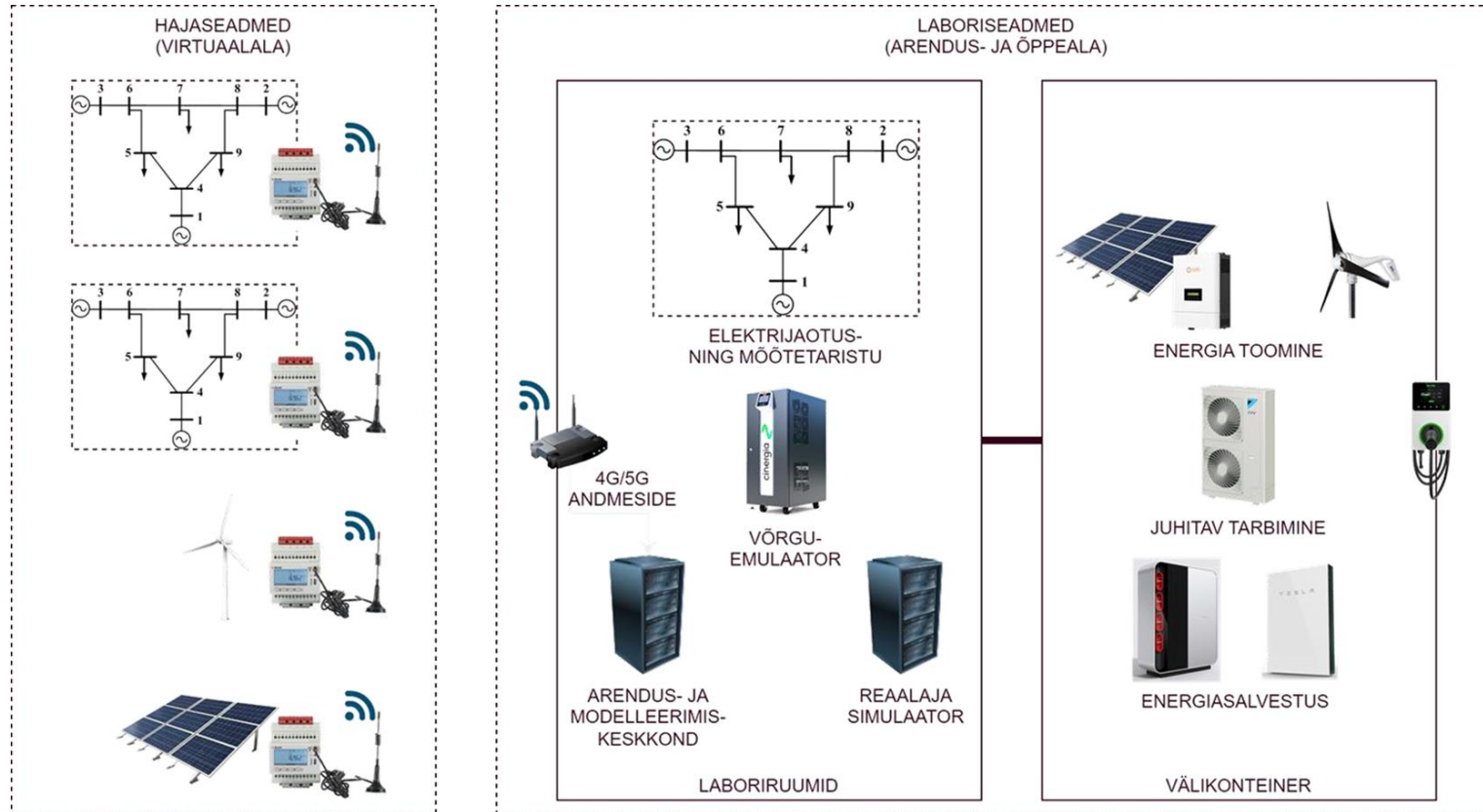
Väiksemad riskid ja
kulud arendusele

ENERGEETIKA ANDMETE KVALITEEDI TÄHTSUS



- ANDMETE KVALITEET on kasvava tähtsusega mistahes probleemi lahendamisel
- **Meil on vahendid ja võimalused, et**
 - ✓ koguda kvaliteetseid andmeid
 - ✓ töödelda andmeid parimal viisil
 - ✓ andmete pealt **teha** tehnoloogia arendamiseks **kaugeleulatuvaid järeldusi**
 - ✓ **arendada** energiatehnoloogiaid **tehnilis-majanduslikult optimaalsel viisil**
 - ✓ testida ja valideerida uurimis- ja arendustööde tulemusi digikaksikutel objekti mõjutamata
 - ✓ **vähendada ärimudelite väljatöötamisega seotud riske** ja kulusid

UUS TARISTU VÕIMALDAB LAHENDADA MURESID TÕHUSAMALT



- **Tarbimise nutikas juhtimine ja juhtimisplatvormide arendamine**
- Tootmisseadmete valik ja integreerimine võrku
- Elektrisüsteemi läbilaskevõime
- Energiasalvestite arendamine
- Seadmete eluea diagnostika
- **Tehisintellekti rakendamine**
- Kogukonna energiasüsteemide tehnilis-majanduslik analüüs ja arendamine
- Rikete tuvastamise ja põhjuste selgitamine
- **Elektri kvaliteedi ja tarbimise tõhususe hindamine**
- **Digikaksikud lahenduste arendamiseks ja ärimudelite testimiseks**

VÄÄRTUSPAKKUMINE ETTEVÕTJATELE

Elektritootmisseadmete sh elektrimasinate ja -ajamite arendamine

- projekteerimine, prototüüpimine, testimine, optimeerimine
- juhtimissüsteemide optimeerimine rakenduste efektiivsemaks ja täpsemaks muutmiseks
- seisundiseire, diagnostika ennetavaks hoolduseks

Elektrivõrkude digikaksikud, modelleerimine/analüüs probleemide ennetamiseks või lahendamiseks

- taastuvenergiast ja tarbimise muutustest tulenevate mõjude vähendamine
- Agregeerimisega ja paindlikkusteenustega kaasnevate mõjude vähendamine
- ärimudelitega kaasnevate riskide vähendamine

Paindlikus- ja juhtimislahendused sh paindlikud liitumised

- omatarbe suurendamine, läbilaskevõime parendamine
- elektri kvaliteedi sh pingeprobleemide lahendamine
- investeeringute tasuvuse parandamine

TI masinõppe ja keelemudelite rakendused energeetikas

- koormuste, tootmise, hindade, ilma prognoosid
- rikete diagnostika, elektri kvaliteet
- energiahaldus

ETTEKANDES KASUTATUD OLULISEMAD PUBLIKATSIOONID

1. H. Tiismus, V. Maask, V. Astapov, T. Korõtko and A. Rosin, "State-of-the-Art Review of Emerging Trends in Renewable Energy Generation Technologies," in *IEEE Access*, vol. 13, pp. 10820-10843, 2025.
2. Maask, Vahur; Agabus, Hannes; Tiismus, Hans; Astapov, Victor; Ahmadiyahangar, Roya; Korõtko, Tarmo; Rosin, Argo (2025). Exploring the Landscape of End User Energy Flexibility: A Systematic Review of Technologies, Challenges, and Opportunities. *IEEE Access*.
3. V. Astapov, N. Shabbir, A. Rosin, L. Kütt, V. Maask, H. Tiismus. Review of technical solutions addressing voltage and operational challenges in a distribution grid with high penetration of intermittent RES, *Energy Reports*, Volume 14, 2025, Pages 1738-1760, ISSN 2352-4847.
4. Robin Pihelgas. Energiasalvestite kasutamine hajatootmisega madalpingevõrkudes pingeprobleemide vähendamiseks. *Bakalaureuse töö*. 2025.
5. Freddy Plaum, PhD thesis "Research and Development of Quantification Methods for Aggregated Energy Flexibility". 2025
6. Vahur Maask, PhD thesis "Research and Development of Explicit Demand Flexibility Management Methods for Ventilation Systems". 2023
7. F. Amjad, T. Korõtko and A. Rosin, "Review of LLMs Applications in Electrical Power and Energy Systems," in *IEEE Access*, vol. 13, pp. 150951-150969, 2025.
8. M. N. Dehaghani, T. Korõtko, A. Rosin, Power quality improvement in DG based distribution systems: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 225, 2026, 116184, ISSN 1364-0321.
9. M. N. Dehaghani, T. Korõtko and A. Rosin, "AI Applications for Power Quality Issues in Distribution Systems: A Systematic Review," in *IEEE Access*, vol. 13, pp. 18346-18365, 2025.



TAL TECH

ARUTELU JA TÄPSUSTAVAD KÜSIMUSED?



Kaasrahanud
Euroopa Liit



Eesti
tuleviku heaks

TEL: +372 5290305
ARGO.ROSIN@TALTECH.EE

