

Optiliste suuruste jälgitavusahel, mõõte- ja abivahendeid ning etaloni iseloomustavate metrooloogiliste parameetrite, laboriruumi ja personali kirjeldus

1. Sissejuhatus.....	1
2. Optiliste suuruste riigietaloni mõõtevõime.....	2
2. Optiliste suuruste riigietaloni jälgitavusahel	2
3. Optiliste suuruste riigietaloni mõõte- ja abivahendid	4
3.1 Mõõtevahendid ühiku säilitamisel ja edastamisel	4
3.2 Abivahendid	4
4. Etaloni metrooloogilisi omadusi tõendavad dokumendid	7
5. Optiliste suuruste riigietaloni laboriruum	7
6. Optiliste suuruste riigietaloni säilitamise, kasutamise ja arendamisega seotud personal	7
7. Optiliste suuruste riigietaloni säilitamise, kasutamise ja arendamise tasuvusanalüüs.....	7

1. Sissejuhatus

Optiliste suuruste riigietaloni tasemel mõõtmisvõime on tarvilik eeldus kõrgel tasemel rakendusuuringutele ja metrooloogiliste teenuste arendamiseks valdkondades nagu autonoomsed sõidukid, kvantside, säästvate LED-valgusallikate kasutamine, sensor- ja materjalitehnoloogia. Optiliste suuruste mõõtevõime tagamine riigietaloni tasemel kindlustab, et oleme Eestis võimalised testima uut tehnoloogiat näiteks kaitsetööstuses või turvaliste sidelahenduste juurutamisel. Optiliste suuruste riigietaloni arendamise käigus on muu hulgas töötatud välja või laiendatud järgmisi teenuseid:

- Optiliste mõõtevahendite kalibreerimisteenus (teenus arendatud, akrediteerimisel), näiteks kiudoptilisi mõõtevahendeid kasutavad telekommunikatsiooniettevõtted ja elektroonikatööstus.
- Meditsiinivaldkonna optiliste seadmete toimimise katsetused – AS Metrosert on hetkeseisuga võimeline seadmeid (näiteks kosmeetilisteks protseduurideks kasutatavad laserid) teatud ulatuses laboris kontrollima,
- Kvantkommunikatsiooni võrgu seadmete ja võrgu testimine: teadus- ja arendusprojektide raames on arendatud välja võimekus testida kvantvõtmejaotusseadmete (QKD) allikate kvaliteeti.

Optiliste suuruste riigietaloni arendusprojekti käigus ja sellega kaasnenud võimekuse ülesehitamise tulemusena on Metrosert osalenud järgnevates teadus- ja arendusprojektides, mis on panustanud kas mõõtevõime või siis teenuste arendusse:

1. SEQUME – mõõtevõime arendamine üksikute footonite tasemeni.
2. EstQCI – kvantvõtmejaotusseadmete testimisvõimekuse arendamine
3. S-CALe UP - etalon-detektori arendamine ultraviolet (250...400) nm ja lähedase infrapuna (800...1000) nm lainepikkuste piirkondadesse madala määramatusega.
4. NEWSTAND - spektraalse kiiritustiheduse etalonallika arendamine, et katta lai lainepikkuste vahemik 250 nm kuni 2500 nm.
5. NoQTeS - jälgitavate mõõtmis- ja karakteriseerimismeetodite väljatöötamine kvantsensortechnoloogiate jaoks, mis on vajalikud teemandi värvitsentritel põhinevate seadmete standardimise toetamiseks.

Optiliste suuruste riigietaloni tasemel mõõtevõime hoidmine ja jätkuv arendamine tagab, et Eestis on olemas eeldused edasiseks teadus- ja arendustegevuseks erinevatel optilise võimsuse tasemetel, sh madalatel valgusvoogudel põhinevate tehnoloogiate (nt kvanttehnoloogilised rakendused) arendamiseks ja ettevõtete vastavasuunalise teadus- ja arendustegevuse toetamiseks. Jätkuv edasine teadus- ja arendustegevus ja rahvusvahelise koostöö madalate footonvoogude mõõtmiste jälgitavuse tagamiseks on oluline, sest rahvusvaheliselt puuduvad selleks veel standardsed alused.

Riigi- ja tugietalonide nimistu kehtestab valdkonna eest vastutav minister määrusega. Hetkel kehtivas määruses on optilised suurused esindatud tugietalonina.

2. Optiliste suuruste riigietaloni mõõtevõime

Taotletav etalon on järgmistele optilistele suurustele:

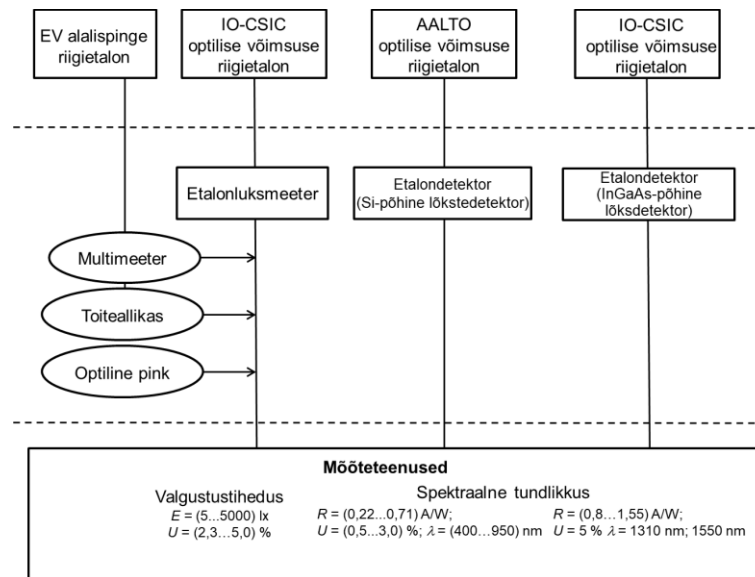
Mõõdetav suurus	Mõõtepiirkond	Kalibreerimis- ja mõõtevõime, $U(k=2)$
Valgustustihedus	(5...15) lx (15...2000) lx (>2000...5000) lx	5,0% 2,3% 5,0%
Spektraalne tundlikkus*	(0,22...0,71) A/W (0,8...1,55) A/W	(3,0...0,5)%; λ =(400...450) nm, 0,5%; λ =(450...750) nm (0,5...2)%; λ =(750...950) nm 5%; λ =1310 nm, 1550 nm

kus λ tähistab valguse lainepikkust

*Optilise võimsuse vahemik 1 μ W...1 mW.

2. Optiliste suuruste riigietaloni jälgitavusahel

Riigietaloniga sooritatavate mõõtetulemuste jälgitavus rahvusvahelise SI süsteemiga on tagatud etalonluksmeetrite ja etalondetektorite kalibreerimisega primaaretaloni suhtes Euroopa metroloogiainstituutides. Nendeks on hetkel etalonluksmeetri ja infrapunase piirkonna etalondetektor puhul Hispaania metroloogiainstituut IO-CSIC, LED-etalonallika puhul Saksamaa metroloogiainstituut PTB ja nähtava piirkonna etalondetektor puhul Soome metroloogiainstituut MIKES/AALTO. Optiliste suuruste riigietaloni jälgitavusahel on illustreerituna esitatud allpool. Optiliste suuruste riigietalon on valdkonna parima mõõtevõimega etalon Eestis.



Optiliste suuruste riigietaloni sooritatavate mõõtetulemuste jälgitavus valgustustiheduse mõõtmistel on tõendatud Eesti Akrediteerimiskeskuse poolt. Spektraalse tundlikkuse jälgitavus on tagatud nähtavas piirkonnas MIKES-Aalto referentsdetektori kaudu ja infrapunases piirkonnas lainepikkustel 1310 nm ja 1550 nm on võimekus leidnud kinnitust rahvusvahelisel võrdlusmõõtmisel.

3. Optiliste suuruste riigietaloni mõõte- ja abivahendid

3.1 Mõõtevahendid ühiku säilitamisel ja edastamisel

Etalon	Tüüp	Nr	Mõõtepiirkond	Laiendmääramatus	Kalibreeritud	Kalibreerija
1	2	3	4	5	6	7
Etalonluksmeeter	PRC Krochmann RadioLux 111	150320 / 150320	(0,3...5000) lx	0,8 %	10.2024	IO-CSIC
LED-etalonallikas	LIS-A	OS40005A09	342,19 cd 16,278 cd	0,76 % 0,87 %	07.2025	PTB
Etalondetektor (ränipõhine)	MET S03-S1337	2311011	(0,22...0,71) A/W	(0,051...0,098)%	03.2026	Aalto
Etalondetektor (InGaAspõhine)	2XIGA	2305001	(0,8...1,55) A/W	(0,010...0,012) A/W □=1310 nm, 1550 nm, 1625 nm	07.2023	IO-CSIC

3.2 Abivahendid

Mõõtevahend	Tüüp	Nr	Mõõtepiirkond	Laiendmääramatus	Kalibreeritud	Kalibreerija
1	2	3	4	5	6	7

Fotomeetriline pink	ΦC-M-4.1	782045	kuni 3 m	-	-	-
Toiteallikas	PTN 125-1	4145 17530	(0...125) V (0...1) A	-	-	-
Lamp-valgusallikas	Wi41/G		6 A 31 V	-	-	-
Toiteallikas	Agilent 6675A	MY41001713	(0...120) V (0...18) A	-	-	-
NKTP superkontiinum laser	SuperK FIANIUM FIU-6 PP	K0128672	400...2300 nm, 150 kHz - 78 MHz	-	-	-
Selekteeriv lainepikkuste filter	LLTF CONTRAST SR- VIS-HP8-HF2-F12M- NKTP	M000011019	(400...1000) nm			
Selekteeriv lainepikkuste filter			(1000...2300) nm			
Laser	LPS-1310-FC	220620-21	1309,2 nm	-	-	-
Laser	LPS-1550-FC	220330-18	1545,5 nm	-	-	-
Laser	LDH-D-C-690	010470088	689 nm			
Laser	PIL1-155-40FC	1160	1550 nm, kuni 40MHz			
Ampermeeter	B2987B	MY61390201	2 pA...20 mA	$1 \cdot 10^{-4}$ pA... $3,9 \cdot 10^{-4}$ mA	16.04.2026	Metrosert

Ampermeeter	B2981B	MY61390220	2 pA...20 mA	$1 \cdot 10^{-4}$ pA... $3,9 \cdot 10^{-4}$ mA	20.04.2026	Metrosert
Multimeeter	Wavetek 1281	45019	100 nA...2 mA, 0.1 V...100 V			

4. Etaloni metrooloogilisi omadusi tõendavad dokumendid

Metrooloogilisi omadusi tõendavad dokumendid on:

1. Eesti Akrediteerimiskeskuse akrediteerimistunnistus nr K001 (valgustustihedus).
2. Fotodetektori rahvusvaheline võrdlusmõõtmine „*Pilot Comparison on the fiber optic power responsivity between TUBITAK UME, IO-CSIC and AS Metrosert, SmartPhora A3.1.4*“ (spektraalne tundlikkus).

5. Optiliste suuruste riigietaloni laboriruum

ASi Metrosert Tallinna labori ruumid asuvad aadressil Teaduspargi 8, Tallinn.

Erinõudeid laboriruumi keskkonnatingimustele seatud ei ole, laboriruumid on ilma akendeta ja valgustustiheduse laboriruumi siseseinad on värvitud mustaks.

Keskkonna temperatuur laborites on vahemikus 20 °C...23 °C / stabiilsus $\pm 2,0$ °C.

Mõõtmisel kasutatavatele riigietaloni seadmetele ja abivahenditele on vajalikud tingimused laboriruumides tagatud. Nendeks on tavatemperatuur, temperatuuri stabiilsus, elektritoide ja vajalik õhuniiskus.

6. Optiliste suuruste riigietaloni säilitamise, kasutamise ja arendamisega seotud personal

Optiliste suuruste riigietaloni säilitamisega ja arendamisega tegelevad Meelis-Mait Sildoja, Matt Rammo ja Toomas Kübarsepp. Töötajate akadeemilised CV-d on leitavad Eesti Teadusinfosüsteemist ETIS (www.etis.ee).

7. Optiliste suuruste riigietaloni säilitamise, kasutamise ja arendamise vajadus- ja tasuvusanalüüs

Aastatel 2022-2025 on Metrosert investeerinud optiliste suuruste riigietaloni arendusprojekti raames põhivara ehk seadmete soetamiseks 536 407 eurot, investeerimiseks vajalikud vahendid pärinevad peamiselt majandus- ja kommunikatsiooniministeeriumi teadus- ja arendusrahastusest. Seega ei võta allolev analüüs arvesse seadmete amortisatsioonikulusid, sest investeeringuteks vajalikud vahendid on Metroserdile laekunud investeeringu tegemise aastal sihtfinantseeringuga.

Optiliste suuruste riigietaloni teenitav tulu koosneb kahest komponendist. Müügitulu hõlmab teenuseid nagu kalibreerimine ja mõõtmine, samuti optiliste suurustega seotud konsultatsiooniteenuseid ja ettevõtetele teostatavaid TA-projekte. Tulu teadus- ja arendusprojektidest on rahvusvahelistest taotlusvoorudest laekuv granditulu teadus- ja arendustegevusteks. Prognoosid on

tehtud 2025. aasta reaalsete andmete alusel. Optiliste suuruste valdkonna prognoositavad teadus- ja arendusprojektid käsitlevad teemasid nagu uut tüüpi allikate ja detektorite arendus ja testimine ja kvantitehnoloogia edasine arendamine, sealhulgas standardiseerimine. Samuti käsitlevad projektid optiliste suuruste mõõtevõime rakendamist areneva tehnoloogia (nt kiibitehnoloogia, kvantvõtmejaotus) testimisel. Optiliste suuruste valdkonna kalibreerimisteenuste kliendid on peamiselt meditsiini-, ravimi-, toiduaine- ja elektroonikatööstus. Teadus- ja arendusteenuse kliendid on valgusel põhinevate tehnoloogiate arendajad ja teaduslaborid. Optika valdkonna teadus- ja arendustegevuse osaks on samuti ülitundlike detektorite arendus, mida eduka arendustegevuse korral on võimalik tootena müüa.

Optiliste suuruste riigietaloni kulude peamise osa moodustavad tööjõukulud, arvestatud on kahe (doktorikraadiga) teaduri ja ühe juhtivateaduri palgakulu (kokku kolm täistööajaga töötajat), võttes arvesse iga-aastast võimalikku korrektuuri. Teise kulukomponendi moodustavad investeeringud, mis on vajalikud valdkonna edasiseks arendustegevuses. Otsekulude hulgas on erinevad väikevahendid ja materjalid igapäevase töö elluviimiseks. Üldkuludes on lisaks pindade ja administratiivkuludele ka kõik muud kulud, nt tarkvara, side, laborite koristus, elekter ja soojus jne. Üldkulude määraks on arvestatud 25% kuludest, mis on tavapärane EL grandimeetmetes kasutatav üldkulu määr. Optiliste suuruste riigietaloni prognoositavad tulud ja kulud on esitatud tabelis 4.

Optiliste suuruste kulude ja tulude prognoos ei võta arvesse tulu, mida saavad erinevad ettevõtted ja asutused lisandunud kalibreerimisteenuste ja TA-tegevuse tulemusena. See tulu ületab tõenäoliselt oluliselt ASi Metrosert poolt teenitavat otsest tulu teenustest. EURAMETi 2025. aastal läbiviidud uuringu ¹ kohaselt toob iga Euroopa Liidu metroloogiavaldkonna teadus- ja arendustegevusse investeeritud euro tagasi neli eurot tulu, sest läbi metroloogia toetatakse ettevõtete teenuste kvaliteeti ja arendust. TA-mahuka optika valdkonna puhul võib seda mudelit arvesse võttes kaudne tulu ületada miljon eurot aasta kohta.

Võttes arvesse kvantitehnoloogia valdkonna kiiret arengut, samuti valgusel põhinevate tehnoloogiate kasutuselevõttu näiteks meditsiinis, on lisaks otsesele tulule oluline laiem kasu sellest, et Eestis on olemas valdkondlik kompetents. Selle kompetentsi toel on võimalik lisaks kalibreerimisteenuse osutamisele toetada uue tehnoloogiliste lahenduste arendamist ja uue tehnoloogia kasutuselevõttu. Tegevuse heaks näiteks on turvalise side ja kvantvõtmejaotusega seonduv, mille käigus Metrosert on optiliste suuruste riigietaloni arendamise käigus saanud teadmisi kasutades arendanud välja kompetentsi kvantkindlate võrkude testimiseks, millel on pikemas perspektiivis oluline julgeolekupoliitiline mõju.

Tabel 4. Optiliste suuruste riigietaloni tulud ja kulud viie aasta perspektiivis

	2026	2027	2028	2029	2030
Tulud	205000	210000	255000	267000	295000
Teenuste müük (konsultatsioon, TA-teenused ja mõõteteeenused)	45000	50000	55000	67000	70000
Tulu rahvusvahelistest TA-projektidest	160000	160000	200000	200000	225000
Kulud	-403750	-438050	-475094	-515122	-558393
Valdkonna otsekulud	-25000	-27000	-29000	-31000	-33000
Personaliga seotud kulud	-218000	-235440	-254275	-274617	-296587

¹ Quantifying the economic benefit resulting from EURAMET's metrology research programmes, EURAMET, 2025

Valdkonna arendamiseks vajalikud investeeringud	-100000	-110000	-121000	-133100	-146410
Üldkulud 25% (sh pindadega seotud kulud, admin kulud)	-60750	-65610	-70818,8	-76404,3	-82397
Kokku	-198750	-228050	-220094	-248122	-263393