

Energiatehnoloogia instituut

Gaasivõrkude hindamise ja analüüsi meetoodika.

Methodology of assessment and analysis of gas networks.

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Maksim Ivanov

Üliõpilaskood: 221587MASM

Juhendaja: Anna Volkova

Kaasprofessor tenuuris, Dr.Sc.Ing.

Tallinn 2024

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 2024

Autor:

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2024

Juhendaja:

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

"....."2024 .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ allkirjastatud digitaalselt /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Maksim Ivanov (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 20.07.1993)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
Metoodika gaasilekete avastamiseks, lokaliseerimiseks ja klassifitseerimiseks maagaasi torustikel,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Anna Volkova,

(juhendaja nimi)

- 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
 3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

/ allkirjastatud digitaalselt /

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Maksim Ivanov, 221587MASM

Õppekava, peeriala: MASM02/22 - Energiatehnoloogia ja soojusenergeetika

Juhendaja(d): Uurimisrühma juht, Anna Volkova, +372 5582866

Lõputöö teema:

(eesti keeles) *Metoodika gaasilekete avastamiseks, lokaliseerimiseks ja klassifitseerimiseks maagaasi torustikel.*

(inglise keeles) *Methodology for the detection, localization and classification of gas leaks in natural gas pipelines.*

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Gaasilekete avastamise meetodite analüüs.
2. Gaasivõrkude hindamismetoodika väljatöötamine.
3. Eesti gaasivõrgu ülevaade.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö teema kinnitamine, algandmete kogumine ja kirjanduse lugemine	31.01.2024
2.	Teema kinnitamine juhendaja poolt	20.05.2024
3.	Lõputöö terviklik esitamine juhendajale	27.05.2024

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "27" mai 2024 a

Üliõpilane: ".....".....2024a

/ allkirjastatud digitaalselt /

Juhendaja: ".....".....2024a

/ allkirjastatud digitaalselt /

Konsultant: ".....".....2024a

/ allkirjastatud digitaalselt /

Programmijuht: ".....".....2024a

/ allkirjastatud digitaalselt /

SISUKORD

EESSÕNA	6
LÜHENDTE JA TÄHISTE LOETELU	7
SISSEJUHATUS	8
1. Maagaas	10
1.1 Gaasi tarbimine Eestis	11
1.2 Maagaasi hindade kõikumise põhjused ja hetkeseis Euroopas	13
1.3 Gaasisüsteemi ajalugu	14
1.4 Maagaasi import	15
1.5 Balticconnector	16
2. Lekked ja nende avastamise meetodid	18
2.1 Lekked	18
2.2 Lekkede põhjused	18
2.3 Torustike korrosioonikahjustused	20
2.4 Lekke avastamismeetodid	20
2.4.1 Füüsilised meetodid gaasilekete otsimiseks maa-alustel torustikel	21
2.4.2 Keemilised ja gaasianalüüsi meetodid	23
2.4.3 Visuaalsed ja termograafilised meetodid	25
2.4.4 Raadiolokatsiooni ja ultrahelimeetodid	26
2.4.5 Hüdrodünaamilised meetodid	27
2.4.6 Kokkuvõtte	27
2.5 Mullaomaduste mõju gaasilekete tuvastamisele: probleemid ja piirangud.	28
3. Uuringu metoodika	30
3.1 Toru omadused	30
4. Gaasivõrgud	33
4.1 Eesti maagaasi ülekandevõrgu torustik	34
4.2 Kaod ülekandevõrgus	35
4.3 Gaasitorustike avariide analüüs ja nende jaotumine	36
4.4 Regionaalne gaasiülekandevõrk	38
KOKKUVÕTE	41
SUMMARY	42
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	43

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö teema on välja pakutud juhendaja Anna Volkova poolt. Autoril on töökogemus gaasitorustike alal, mille käigus omandatud teadmised ja kogemused on käesoleva uurimistöö aluseks. Töö eesmärgiks on uurida ja hinnata erinevaid tehnoloogiaid gaasilekete avastamiseks ning nende rakendamise efektiivsust. Andmed töö jaoks on hangitud avalikest allikatest ja varasematest uurimistöödest.

Uurimistöö käigus tehti analüüs ja võrdlus mitmetele uutele tehnoloogiatele, mis omavad suurt potentsiaali gaasilekete tuvastamisel, oluliselt mõjutades gaasivõrkude ohutust ja usaldusväärsust. Tulemused osutavad, et tehnoloogilised uuendused gaasilekete tuvastamisel võivad oluliselt vähendada avariide esinemissagedust ning tõsta süsteemi efektiivsust.

Eraldi tänud kuuluvad juhendaja Anna Volkovale, kelle eksperthinnangud ja toetus olid uurimistöö koostamisel hindamatud. Samuti tahan tänada oma kolleege ja perekonnaliikmeid, kelle toetus ja mõistmine on aidanud mul selle akadeemilise projekti läbi viia.

Märksõnad: gaasileke, avastamismeetodid, gaasiinfrastruktuur, magistritöö

LÜHENDTE JA TÄHISTE LOETELU

CH₄ – Metaan, maagaasi peamine komponent.

CO₂ – Süsihappegaas, üks maagaasi koostisosi.

EGIG – European Gas Pipeline Incident Data Group, organisatsioon, mis kogub ja analüüsib gaasitorustike avariisid.

GJJ – gaasijaotusjaam.

GMJ – gaasimõõtejaam.

GIPL – Gas Interconnection Poland–Lithuania, gaasijuhe Poola ja Leedu vahel, et ühendada Balti gaasitaristu Kesk-Euroopa infrastruktuuriga.

MOP – maximum operating pressure, maksimaalne töö rõhk.

GPR – Ground Penetrating Radar, maapinna läbistav radar.

LNG – Liquefied Natural Gas, vedeldatud maagaas.

PE – Polüetüleen, materjal, mida kasutatakse gaasitorustike ehitamiseks.

TTF – Title Transfer Facility, Euroopa gaasihindade futuurid.

SISSEJUHATUS

Tehnoloogia kiire arengu ja suurenenud tähelepanu tõttu keskkonnaprobleemidele muutub maagaasi lekete ja nende avastamise meetodite probleem üha aktuaalsemaks. Maagaasi kõrge soojusväärtuse ja suhteliselt madalate süsinikdioksiidi heitkoguste tõttu kasutatakse seda laialdaselt kodudes, tööstuses ja energeetikas. Kuid gaasilekked kujutavad tõsist ohtu nii keskkonnale kui ka inimeste ohutusele. Käesoleva magistritöö peamine eesmärk on analüüsida erinevaid meetodeid maagaasi lekete avastamiseks gaasijaotussüsteemides, anda ülevaade Eesti gaasivõrgust ja töötada välja gaasivõrkude hindamise meetodika.

Teema aktuaalsus tuleneb vajadusest suurendada gaasijaotussüsteemide usaldusväärsust ja ohutust, minimeerida ressursside kadu ja vältida ökoloogilisi katastroofe. Maagaasi peetakse üha enam vahepealseks lahenduseks teel süsinikuneutraalsuse poole, mida Euroopa Liit püüab saavutada aastaks 2050. See seab kahtluse alla kallite investeeringute pikaajalise otstarbekuse gaasiinfrastruktuuri. Teisalt on gaasiinfrastruktuuri eeliseks see, et seda saab kasutada biogaasi transportimiseks ja ümber ehitada vesiniku kasutamiseks, võimaldades tulevikus üleminekut keskkonnasõbralikumatele.[1]

Selle töö ülesanded hõlmavad: erinevate maagaasi lekete avastamise meetodite üksikasjalikku analüüsi, sealhulgas füüsikalised, keemilised, visuaalsed ja termograafilised meetodid, samuti ultraheli- ja raadiolokatsioonitehnoloogiad; Eesti gaasivõrkude seisukorra hindamist, võttes arvesse kasutatud materjale, torude vanust ja korrosioonikindlust; gaasivõrkude hindamise meetodika väljatöötamist, mis aitab parandada moderniseerimis- ja hooldusprogrammide planeerimist ja rakendamist.

Ülemaailmne maagaasi transpordi- ja jaotusvõrk on keeruline ja pidevalt laienev. Uuringud näitavad, et torujuhtmed on transpordivahendina kõige ohutumad, kuid need ei ole siiski täiesti riskivabad. Seetõttu on gaasijuhtme infrastruktuuri töökindluse tagamine energiasektori jaoks kriitiline vajadus.[2]

Töös antakse lühike ülevaade uurimisvaldkonnast, sealhulgas lekete avastamise praegustest meetoditest ja nende rakendamisest erinevates kasutustingimustes. Erilist tähelepanu pööratakse erinevat tüüpi pinnase mõjule lekete käitumisele ja nende avastamise tõhususele. Läbi viidud Eesti gaasivõrgu seisukorra uuring näitab gaasisüsteemi olulisust riigi energiajulgeoleku ja tarnekindluse tagamisel. Töö tulemused võivad olla kasulikud strateegiate väljatöötamisel gaasijaotussüsteemide usaldusväärsuse ja keskkonnasõbralikkuse suurendamiseks.

Lisaks sellele, arvestades gaasiinfrastruktuuri olulist rolli Eesti energiasüsteemis, on käesoleva töö tulemused olulised mitte ainult teaduslikust, vaid ka praktilisest seisukohast. Gaasivõrkude usaldusväärsus ja efektiivsus on kriitilised tegurid, mis

mõjutavad majanduslikku arengut ja keskkonnakaitset. Käesolevas magistritöös pakutud meetodid ja lahendused võivad aidata parandada olemasolevate gaasivõrkude töökindlust, vähendada lekete arvu ja tagada keskkonnasäästlikum energia tootmine ja tarbimine.

1. Maagaas

Maagaas on väärtuslik energiaallikas, mida kasutatakse laialdaselt nii kodudes, tööstuses kui ka elektrienergia tootmisel. Tänu oma puhtusele ja kõrgele energiatihedusele peetakse maagaasi keskkonnasõbralikuks kütuseks. Lisaks energia tootmisele on maagaas oluline tooraine keemiatööstuses, võimaldades toota erinevaid keemilisi ühendeid ja materjale.

Keemiline Koostis:

Maagaas on peamiselt metaanist (CH₄) koosnev segu, millele lisanduvad väiksemates kogustes etaan, propaan, butaan ja kõrgemad süsivesinike fraktsioonid ning inertgaasid. Selle koostis võib varieeruda sõltuvalt eraldamise allikast näidatud Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Füüsilised ja keemilised omadused[3]

Veeauru Kastepunkt	≤ -10 °C (absoluutsel rõhul 40 baari)
Süsivesinike Kastepunkt	≤ -2 °C (absoluutsel rõhul 25 kuni 75 baari)
Väävelvesiniku Sisaldus	≤ 7 mg/m ³
Merkaptaanväävli Sisaldus	≤ 16 mg/ m ³
Kogu Väävlisisaldus	≤ 30 mg/ m ³
Ülemine Kütteväärtus	≥ 35,27 MJ/ m ³ (gaasi temperatuuril 20 °C ja absoluutrõhul 1,01325 bar)
Hapniku Sisaldus	≤ 0,02 mool%
Süsihappegaasi Sisaldus	≤ 2,5 mool%
Tahkete Lisandite Sisaldus	≤ 1 mg/ m ³

Need omadused mängivad kriitilist rolli maagaasi kasutamisel kütusena, tagades selle efektiivse põlemise ja minimaalse saasteaine heite. Lisaks annavad need parameetrid võimaluse optimeerida gaasi transporti ja ladustamist, tagades ohutu ja ökonoomse kasutamise kogu tarneahelas.

Maagaasi mitmekülgsus ja selle omadused teevad sellest ühe olulisima ressursi tänapäeva energiamajanduses, pakkudes jätkusuutlikku lahendust nii soojuste kui ka elektri tootmiseks ja toetades samal ajal keemiatööstuse arengut.

Maagaasi lõhnastamine

Maagaas on lõhnatu, värvitu ja maitsetu gaasisegu. Maagaasi lõhnastamiseks kasutatakse spetsiaalset lõhnaainet tetrahüdrotiofeen (THT). Lõhnaaine C₄H₈S osakaal tootes on 10...15 mg/m³. Lõhnaaine abiga saavutatav lõhna tunnetuse piir on 0,05...0,2% maagaasi õhus. Parimateks maagaasi määrajateks õhus on kaasaskantavad või ruumidesse paigaldatud gaasiandurid. Maagaasi lõhnastamine toimub GJJ-s(gaasijaotusjaam) enne gaasi jaotustorustikku suunamist.[3]

Tervist ohustavad tegurid

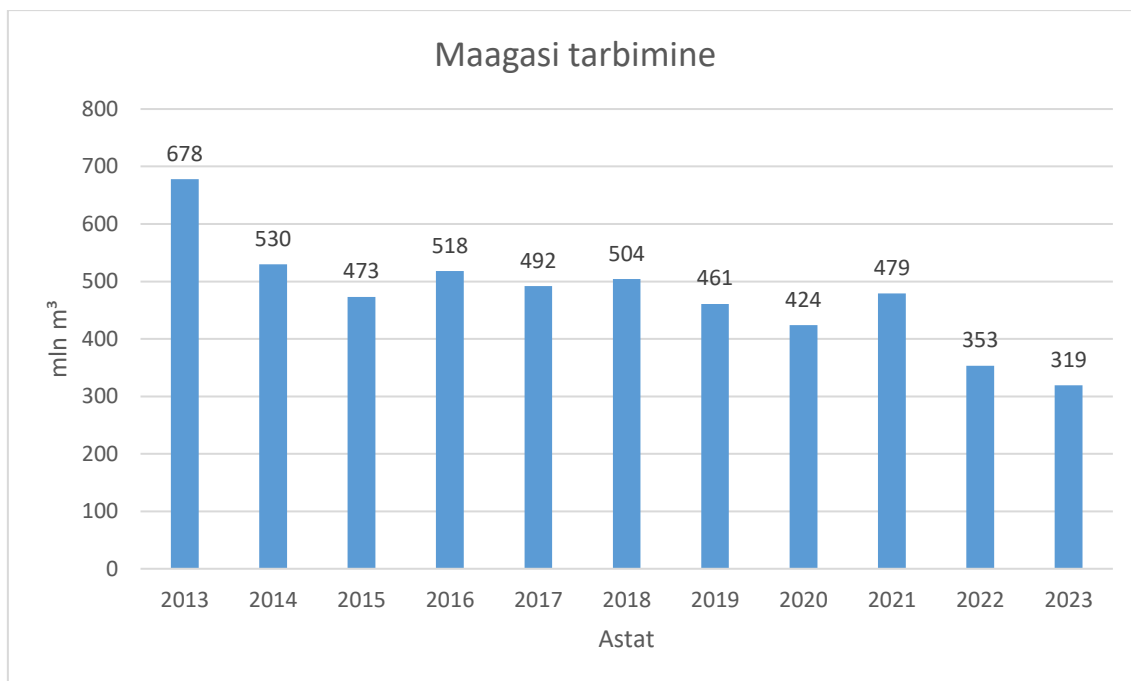
Maagaas ise ei ole toksiline ning lisatud lõhnaaine muudab selle tajutavaks, mitte mürgiseks. Lõhna eesmärk on tagada, et isegi väikesed gaasilekked oleksid hõlpsasti tuvastatavad, kuna see on teadlikult tehtud ebameeldivaks. Põlemisel lõhnaaine lõhn kaob.

Maagaasi sissehingamine väikestes kogustes ei kujuta endast ohtu. Kui maagaasi kontsentratsioon õhus tõuseb umbes 10%-ni, võib see põhjustada unisust ning võimalikud on ka peavalu ja üldine halb enesetunne. Gaasi kontsentratsiooni tõustes 20-30% vahemikku, tekib ohtlik hapnikupuudus, mis võib viia lämbumiseni. Hingamisraskustega inimest tuleb viia värskesse õhku ja kui ta on teadvuseta, tuleks alustada kunstlikku hingamist ning viia ta arsti järelevalve alla.

Maagaasi põlemisel eraldub peamiselt süsihappegaas ja veeaur. Põlemisprotsessis vabaneb ka atmosfääri lämmastik, mis moodustab õhust 79%, ülejäänud osa on hapnik. Olenevalt põlemistingimustest ja temperatuurist võib osa lämmastikust muunduda lämmastikoksiidideks kõrgel temperatuuril. Kui põlemisprotsessis on ebapiisavalt õhku, võib tekkida süsinikmonooksiid (CO), mis on toksiline gaas, blokeerides isegi väikestes kogustes hapniku transportimise veres. Kui on kahtlus vingugaasimürgistusele, tuleb kannatanu viia kohe värskesse õhku ja alustada elustamiskatseid ning toimetada ta kiiresti arsti juurde.[3]

1.1 Gaasi tarbimine Eestis

Loodusliku gaasi tarbimine Eestis on alates 2015. aastast püsinud stabiilne, keskmiselt umbes 0,5 miljardit kuupmeetrit aastas, kuid 2023. aastal langes see 30% võrra 0,32 miljardi kuupmeetriini (vt Joonis 1.1). Selle languse põhjuseks on majanduskriis, soojatootjate üleminek teistele kütuseliikidele (eriti biomassile) ning suure väetisetehase sulgemine 2014. aastal. 2022. aastal olid loodusliku gaasi peamised tarbijad kommunaalteenuste ettevõtted (34% kogutarbimisest). Peaaegu kolmandik gaasist (35% aastal 2022) tarbiti elamumajanduse, teenuste ja põllumajanduse sektoris (sh 20% teenustele ja 15% kodumajapidamistele) ning 25% tööstuses.[4]



Joonis 1.1 Maagasi tarbimine Eestis [5]

Loodusliku gaasi tarbimine Eestis viimastel aastatel peegeldab riigi laiaulatuslikke majanduslikke ja energiapoliitilisi strateegiaid.

Eesti püüab aktiivselt vähendada sõltuvust fossiilkütustest, sealhulgas looduslikust gaasist, investeerides taastuvenergia allikatesse nagu tuule- ja päikeseenergia. Suurt rõhku pannakse taastuvenergia arendamisele, mis järk-järgult asendab loodusliku gaasi kommunaal- ja eratarbimise energiasüsteemides.

Energiajulgeoleku ja sõltumatuse kontekstis arendab Eesti meetmeid energiaressursside impordi vähendamiseks, mis mõjutab ka loodusliku gaasi tarbimist. Gaasitaritu arendamise ja moderniseerimise projektid, nagu ühendamine Euroopa gaasivõrgustikuga, mõjutavad samuti gaasi tarbimise tasemeid.

Majanduslikud kõikumised, nagu tootmise kasv või langus ja tööstusliku tootmise struktuurimuutused, mõjutavad otseselt energiaressursside, sealhulgas loodusliku gaasi tarbimist.

Need aspektid kujundavad Eesti gaasitarbimise praegust pilti ja rõhutavad riigis energiaressursside haldamise kompleksset lähenemist.

Kuigi gaasi tarbimine Eestis väheneb, mängib maagaas riigi energiasüsteemis olulist rolli, eriti kui varuenergiaallikas energiajulgeoleku tagamiseks. Gaasikatlamajad suudavad kiiresti tööle hakata tipukoormuse perioodidel või siis, kui taastuvenergiaallikad nagu tuul või päike ei suuda meteoroloogiliste tingimuste tõttu piisavalt energiat toota. See teeb gaasist olulise elemendi riigi paindlikus ja kohandatavas energiasüsteemis.

Lisaks on maagaas tähtis kütus tööstuses, kus seda kasutatakse mitte ainult energia tootmiseks, vaid ka toorainena keemiatööstuses ja teistes sektorites. See rõhutab selle rolli kui riigi majandusstruktuuri võtmetegurit.

Arvestades globaalseid ja regionaalseid püüdlusi vähendada süsinikdioksiidi heitkoguseid ja üleminekut puhtamatele energiaallikatele, uurib Eesti ka biogaasi ja teiste taastuvate gaasivormide kasutamise võimalusi traditsioonilise maagaasi alternatiivina. See võimaldab mitte ainult vähendada keskkonnamõju, vaid ka tugevdada energiajulgeolekut, vähendades sõltuvust välismaistest tarnetest.

1.2 Maagaasi hindade kõikumise põhjused ja hetkeseis Euroopas

Alates 2021. aasta algusest on maagaasi hinnad Euroopas järsult tõusnud, mis on toonud kaasa märkimisväärseid muutusi energiatööstuses. See hinnatõus oli tingitud mitmetest teguritest, mis koosmõjus põhjustasid hindade kõikumist ja ohustasid piirkonna energiasüsteemi stabiilsust.

Üks peamisi hinnatõusu põhjuseid oli energiakandjate nõudluse taastumine pärast COVID-19 pandeemiat. Kui Euroopa majandused hakkasid taastuma pärast rangete karantiinimeetmete perioodi, tõusis tööstustoodang ja energiatarbimine järsult. See nõudluse taastumine langes kokku gaasihoidlate varude vähenemisega, mis olid 2020-2021. aasta külma talve järel keskmisest madalamad.

Situatsiooni raskendas maagaasi tarnete vähenemine Venemaalt, mis on üks peamisi gaasi tarnijaid Euroopasse. Gazprom vähendas eksporditarneid mitmel põhjusel, sealhulgas siseturu nõudlus, tehnilised tööd ja geopoliitilised pinged. See tekitas Euroopa turul märkimisväärse gaasidefitsiidi ja suurendas hinnasurvet.

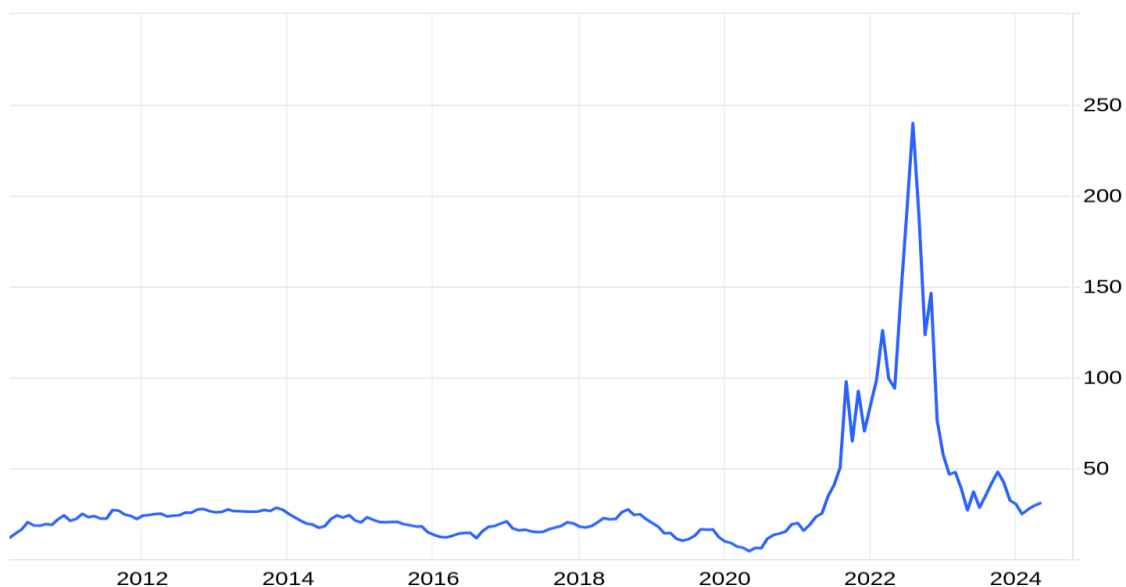
Lisaks muutis kivisöe ja CO₂ kvootide hinnatõus söe kasutamise elektri tootmiseks vähem atraktiivseks. Euroopa süsinikdioksiidi heitkogustega kauplemise süsteem (ETS) suurendas kvootide hinda, mis tõi kaasa kivisöejaamade kulude suurenemise ja nõudluse suunamise puhtamatele energiaallikatele, nagu maagaas.

Ebasoodsad ilmastikutingimused mängisid samuti oma rolli. Tuule- ja päikeseenergia tootmine oli oodatust madalam, mis nõudis gaasi suuremat kasutamist taastuenergia puudujäägi kompenseerimiseks. Samal ajal põhjustas vedelgaasi (LNG) ülemaailmse nõudluse kasv, eriti Aasias, LNG tarnete vähenemist Euroopasse ja gaasi hinna tõusu.

Kriisi haripunktis 2021. aasta lõpus ja 2022. aasta alguses saavutasid gaasihinnad rekordtasemeid. Graafikust on näha, et 2022. aasta keskpaigaks olid hinnad järsult tõusnud ja jäid kõrgeks aasta lõpuni, ulatudes üle 200 euro megavatt-tunni kohta. (vt Joonis 1.2).

Praegusel hetkel, 2024. aasta keskel, on gaasihinnad märkimisväärselt langenud võrreldes 2022. aasta tippasemega, kuid need on siiski kõrgemad kui kriisi alguses. Hindade langus saavutati tänu mitmele võtmetegurile. Esiteks võimaldas LNG tarnete suurenemine teistest piirkondadest Euroopal kompenseerida Venemaa tarnete vähenemist. Teiseks oli viimane talv suhteliselt pehme, mis vähendas kütmiseks vajaliku gaasi nõudlust. Kolmandaks võtsid Euroopa riigid kasutusele energiasäästu ja energiatõhususe suurendamise meetmed, mis aitasid vähendada gaasitarbimist. Neljandaks suurendasid mõned riigid maagaasi sissetoomist, mis samuti aitas turgu stabiliseerida.

Siiski mõjutavad turgu jätkuvalt geopoliitiline ebastabiilsus ja võimalikud uued sanktsioonid Venemaa vastu, luues ebakindlust tulevaste gaasihindade osas. Oluline on jätkata olukorra jälgimist ja välja töötada strateegiaid energiajulgeoleku ja stabiilsuse tagamiseks piirkonnas.



Joonis 1.2 Euroopa gaasihindade TTF futuurid [6]

1.3 Gaasisüsteemi ajalugu

Teadlik gaasi kommertskasutamine Euroopas sai alguse 1785. aastal, kui Suurbritannias hakati söest toodetud gaasi kasutama tänavate ja majade valgustamiseks. Kogu 19. sajandi kasutati maagaasi asemel eelkõige kohapeal söest toodetud gaasi (city gas), sest puudus efektiivne tehnoloogia gaasi transportimiseks gaasi maardlatest linnadesse. 19.nda sajandi lõpul elektritehnoloogia arenguga asendusid gaasilambid elektripirnidega, mis tekitas vajaduse leida gaasile alternatiivne rakendus. 1920.-1930. aastatel gaasi transporditehnoloogia arenguga leiti uusi võimalusi gaasi kasutamiseks

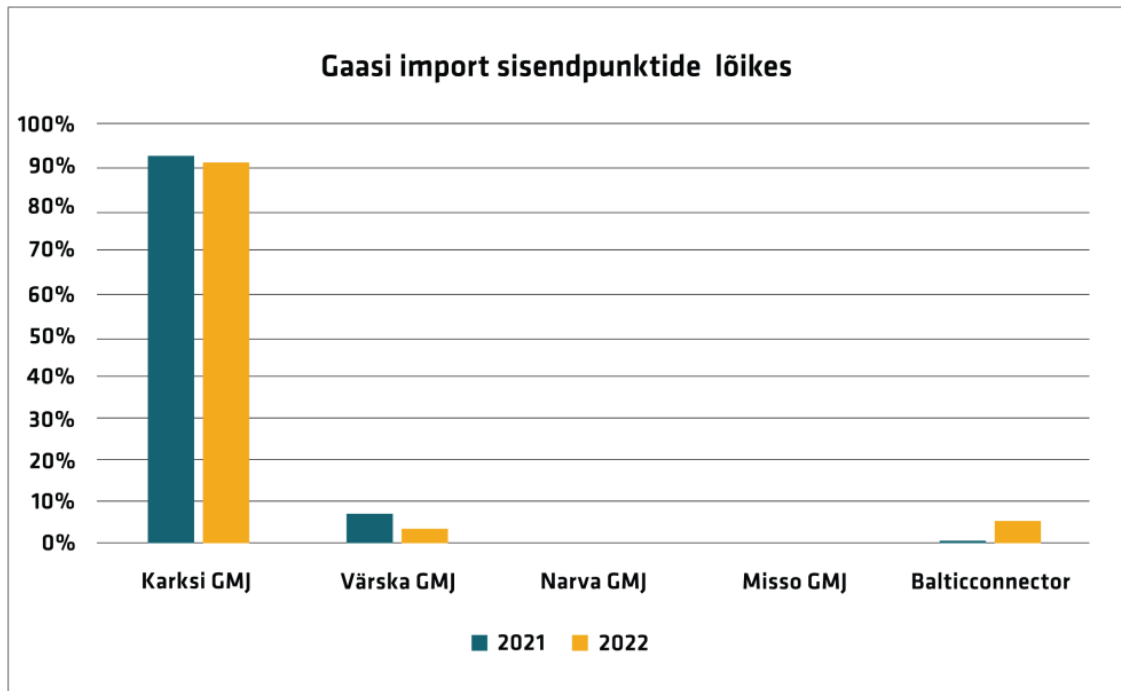
tööstuses ning kodumajapidamises. Tööstuses leidis gaas laialdast kasutust tootmisprotsessides ning gaasikateldes elektri tootmiseks. Kodumajapidamises hakati gaasi kasutama eelkõige hoonete ja tarbevee soojendamiseks, kuid ka toidu valmistamiseks.

Eesti gaasiajalugu algab 19. sajandist. Eestis valmis esimene gaasivabrik 1865. aastal Tallinnas, kus tehiskaasi toodeti Inglise kivisöest. Enamik gaasist tarbiti tänavavalgustuses, kuid gaasiga varustati torustiku kaudu ka Balti Manufaktuuri, vineerivabrikut ning Kadrioru lossi ja parki. 1880. aastal avati ka Tartus gaasivabrik [7]. 1948. aastal valmis Kohtla-Järve Põlevkivitöötlemise tehas, mille kaudu hakati 1949. aastal Kohtla-Järve – Leningradi gaasiülekanalitorustiku kaudu gaasiga varustama Leningradi. 1953. aastal anti käiku esimene kõrgsurve gaasiülekanalitorustik Kohtla-Järve – Tallinn. Mõne aastaga suurenes gaasitarbimine Tallinnas paarikümnekordseks, ulatudes 1955. aastal 65 miljoni kuupmeetri. Esimeste seas said gaasi Liviko tsehh Mere puiesteel ja Raua tänava saun.

1969. aastal hakati Leningradi – Kohtla-Järve ülekanalitorustiku kaudu transportima Eestisse maagaasi, mis Jõhvis segati põlevkivigaasiga. 1976. aastal valmis Tartu Irboska ja 1978. aastal Tartu – Rakvere gaasitorustik. 1979. aastal kasutas Eesti 708 miljonit kuupmeetrit maagaasi ja 273 miljonit kuupmeetrit põlevkivigaasi, kuid nõudlus gaasi järele üha kasvas. 1988. aastal alustati Vireši – Tallinna gaasitorustiku ehitust koos kompressorjaamaga Lätis Virešis, mis võimaldas gaasi saada ka Läti maa-alusest gaasihoidlast Inčukalnsis. Riburada järgnesid uued gaasitrassid kohalike asulate varustamiseks gaasiga: Loo, Viljandi, Kohila, Kehra, Kunda, Narva-Jõesuu, Saue, Muuga, Narva, Vändra ja Raudalu.[8]

1.4 Maagaasi import

Eestis ega ka Lätis, Leedus ja Soomes maagaasi tootmist ei toimu. Regioonis kasutatav gaas imporditakse LNG maailmaturult ja GIPL Poola-Leedu ühenduse kaudu ning kuni 2022. aastani ka Venemaalt. Venemaal toodetud maagaas imporditi Soome, Eestisse, Lätisse ja Leedusse kasutades kõrgsurve torustikke. LNG maailmaturult soetatud gaas tuuakse veeldatud kujul (LNG) laevadega Leedus asuvasse Klaipeda LNG terminali või 2023. aastal tööd alustanud Inkoo LNG terminali. LNG terminalid on ühendatud regiooni maagaasivõrgustikuga. Joonis 1.3 on näidatud viimase kahe aasta gaasi import sisendpunktide lõikes.[9]



Joonis 1.3 Gaasi import sisendpunktide lõikes [9]

Maagaasi võib asendada kohalik biometaan. Tänapäeval biometaan Eesti ülekandevõrku ei sisestata, kuid biometaanipotentsiaali on hinnatud kõrgeks.

1.5 Balticconnector

Balticconnector ühendab Eesti ja Soome gaasivõrgud ning on eelduseks toimivale regionaalsele gaasiturule ning tarneallikate mitmekesistamiseks (LNG terminalid, biometaan jne.) Balti-Soome piirkonnas (vt. Joonis 1.4). [10]

Projekt viidi ellu eesmärgiga parandada energiajulgeolekut ja suurendada energiaturgude paindlikkust Läänemere piirkonnas. Gaasijuhe avati 2019. aasta detsembris ja mängib olulist rolli energiaturvalisuse tugevdamisel ning gaasituru paindlikkuse suurendamisel Läänemere piirkonnas.

Balticconnectori merealuse osa pikkus Paldiskist kuni Inkooni Soomes on 77 kilomeetrit. Maapealse osa pikkus on Eestis 55 ja Soomes 21 kilomeetrit [11]. 152 kilomeetri pikkune gaasijuhe võimaldab gaasi transporti mõlemas suunas, kusjuures selle päevane transpordivõimekus on 7,2 miljonit kuupmeetrit, aidates oluliselt kaasa mõlema riigi energiasõltumatuse suurendamisele [12].

Balticconnectori projekt rahastati Euroopa Liidu ja Soome ning Eesti valitsuste ühiste jõupingutustega, mis rõhutab selle strateegilist tähtsust kogu Euroopale. Projekti peamised eesmärgid hõlmasid energiaallikate mitmekesistamist, sõltuvuse vähendamist

traditsioonilistelt tarnijatelt nagu Venemaa, ning kaasaaitamist konkurentsivõimelisema ja paindlikuma gaasiturule.

Balticconnector aitab kaasa ka Soome ja Eesti gaasiturgude integratsioonile laiemate Läänemere piirkonna turgudega. See loob tingimused ressursside tõhusamaks jaotamiseks, tarbimise optimeerimiseks ja piirkonna üldise energiaturvalisuse suurendamiseks.



Joonis 1.4 Eesti ja Soome vaheline Balticconnector torujuhe [10]

2. Lekked ja nende avastamise meetodid

Käesolev peatükk keskendub maagaasi leketele ja nende avastamise meetoditele. Gaasilekked võivad põhjustada olulisi majanduslikke kahjusid, keskkonnareostust ning ohustada inimeste tervist ja elu. Seetõttu on lekete varajane avastamine ja tõhus tõrje kriitilise tähtsusega[2]. Peatükis käsitletakse erinevaid meetodeid, mida kasutatakse lekete tuvastamiseks, sealhulgas füüsilised, keemilised, visuaalsed ja termograafilised meetodid, samuti ultraheli- ja raadiolokatsioonitehnoloogiad. Lisaks analüüsitakse nende meetodite tõhusust ja sobivust erinevates töötingimustes. Peatüki eesmärk on anda põhjalik ülevaade lekete avastamise kaasaegsetest tehnoloogiatest ja nende rakendamisest gaasivõrkude ohutuse ja töökindluse tagamiseks.

2.1 Lekked

Maa-aluste gaasitorustike terviklikkuse ja ohutuse tagamine on kriitilise tähtsusega ülesanne energia infrastruktuuris. Gaasilekked põhjustavad väärtuslike energiaressursside kadu, mis mõjutab negatiivselt gaasijuhtmesüsteemide majanduslikku tõhusust. Gaasikadude vähendamine mõjutab otseselt tegevuskulude vähendamist ja gaasivõrkude kasutamisest saadava tulu suurendamist.

Gaasilekked võivad põhjustada plahvatusi ja tulekahjusid, mis loob olulise riski inimeste elule ja tervisele, kes töötavad otse objektidel või elavad gaasijuhtmete läheduses. Kontrollimatud gaasilekked võivad põhjustada pikaajalisi keskkonnamõjusid, sealhulgas õhu, vee ja mulla saastumist. Metaan, mis on maagaasi peamine komponent, on tugev kasvuhoonegaas, mis aitab kaasa globaalsele soojenemisele. [13]

Lekkejuhtumid on üldiselt väga harvad, kuid need siiski esinevad ja võivad põhjustada suuri kahjustusi. Lekke suurus võib olla väike ja järk-järguline või suur ja äkiline[13].

2.2 Lekkede põhjused

Ehkki lekete tekkepõhjuseid võib olla mitmeid, eristatakse viit olulist põhjuste kategooria:

Plahvatused ja tulekahjud

Üks tõsisemaid gaasilekete tagajärgi on plahvatused ja tulekahjud, mis võivad tekkida, kui lekkinud gaas seguneb õhuga teatud proportsioonides ja kui on olemas süüteallikas. Need sündmused võivad põhjustada märkimisväärseid materiaalseid kahjusid ja inimeste kaotust.

Korrosioon ja torude kulumine

Korrosioon, mida põhjustavad keemilised ja elektrikeemilised reaktsioonid, samuti füüsiline kulumine kasutamise tulemusena, võivad viia torustiku seinte nõrgenemiseni ja selle tagajärjel lekete ning purunemisteni. Dokumendis mainitakse, et korrosioon on üks sagedasemaid gaasitorustike rikete põhjuseid. Torustike korrosioonikahjustused on üks levinumaid probleeme, mis mõjutavad torujuhtmete terviklikkust ja ohutust. Korrosioon on keemiline või elektrikeemiline protsess, mis põhjustab materjali, eriti metallide, järkjärgulist hävinemist keskkonnaga kokkupuutel. Torustike puhul võib korrosioon toimuda nii seest kui väljast, olenevalt mitmest tegurist nagu materjali tüüp, keskkonna tingimused ja kaitsemeetmete olemasolu või puudumine. [14]

Mehaanilised kahjustused

Kahjustused, mis on põhjustatud mehaanilisest mõjust, näiteks ehitustööde, loodusõnnetuste või inimtegevuse tagajärjel (sh vandalism), võivad samuti olla põhjuseks gaasileketele maa-alustest torustikest.

Ebapiisav hooldus ja vananenud seadmed

Regulaarse hoolduse puudumine ja vananenud või kulunud torustikusüsteemi komponentide kasutamine suurendab lekete ja õnnetuste riski.

Väliste tingimuste mõju

Looduslikud tegurid, nagu temperatuurimuutused, pinnase liikumised, erosioon ja muud geoloogilised protsessid, võivad põhjustada torustiku deformatsiooni või kahjustusi, mis omakorda suurendab lekete ja õnnetuste riski.

Gaasiavariiks torustikul on üldjuhul torustiku pahvatus. Toru plahvatamise põhjuseid võib olla mitmeid – metalli väsimus, pinged struktuuri kihtides, tootmise praak, korrosioon, halb keevisliite kvaliteet, toru vigastus paigalduse käigus.

Gaasilekete põhjusteks võivad olla:

- probleemid veepottide ja hüdrolokkude sifoonidega;
- korrosioonikahjustused jaotus- ja taimetorustikel (torustikku ümbritsev sobimatu pinnas, isolatsioonile või torule endale kahjulikud kemikaalid);
- materjali või paigaldusvead;
- torustiku purunemised transpordikoormuse ja pinnase liikumise tõttu (külmakerked, pinnase vajumine peale kaevetöid);
- mehaanilised kahjustused ehitustööde käigus (maaparandustööd, maakuivendus, vaiade maasse rammimine, aluspinnauuring);
- gaasisiibrite lekked tihendite vahelt;
- teiste kommunikatsioonide valdajate poolt kaevetööde käigus tekitatud mehaanilised vigastused.

2.3 Torustike korrosioonikahjustused

Korrosiooniprobleemid on tihedalt seotud torustike ajalooga. Pinnasekorrosiooni põhjused sõltuvad ajaperioodist, mille vältel torustikud on olnud ilma piisava katoodkaitseta. Terastorud on paigaldatud alates 1950. aastast, esimene katoodkaitse rajati 1961. aastal. Pinnase agressiivsus varieerub Eestis piirkonniti (erinev pinnasetakistus). Mõnes kohas koosneb pinnas puhtast, suhteliselt madala juhtivusega liivast, teistes piirkondades on pinnas aga soine ja väga agressiivne. Lisaks avaldab torustikele mõju merevesi, kuna jaotus- ja peatorustikud asuvad mere lähedal või kulgevad paralleelselt rannajoonega.

Elektriraudtee ja trammitee uitvoolud on suurendanud korrosioonijuhtumite arvu nendes võrguosades, mis jäävad anoodvoolu mõjualasse, lähedal raudtee- ja trammiteede alajaamadele.

Anoodvoolust, mis on põhjustatud juhuslikest uitvooludest, tulenevat mõju on tänaseks vähendatud drenaažijaama abil. Trammid töötavad 660 V alalisvooluga (edaspidi "av") /200 A (132 kW) ning raudteeliiklus Tallinna kesk- ja äärelinnade vahel toimub 3,3 kV av/2 kA (6,6 MW) pingel.

Torustiku korrosiooni määra mõjutavad torustiku ja raudtee-ehitiste asukohad, katoodkaitse olemasolu, drenaažijaamad, raudtee alalisvoolusüsteemi omadused, süsteemi isolatsioon ja raudteel toimuva liikluse tihedus.

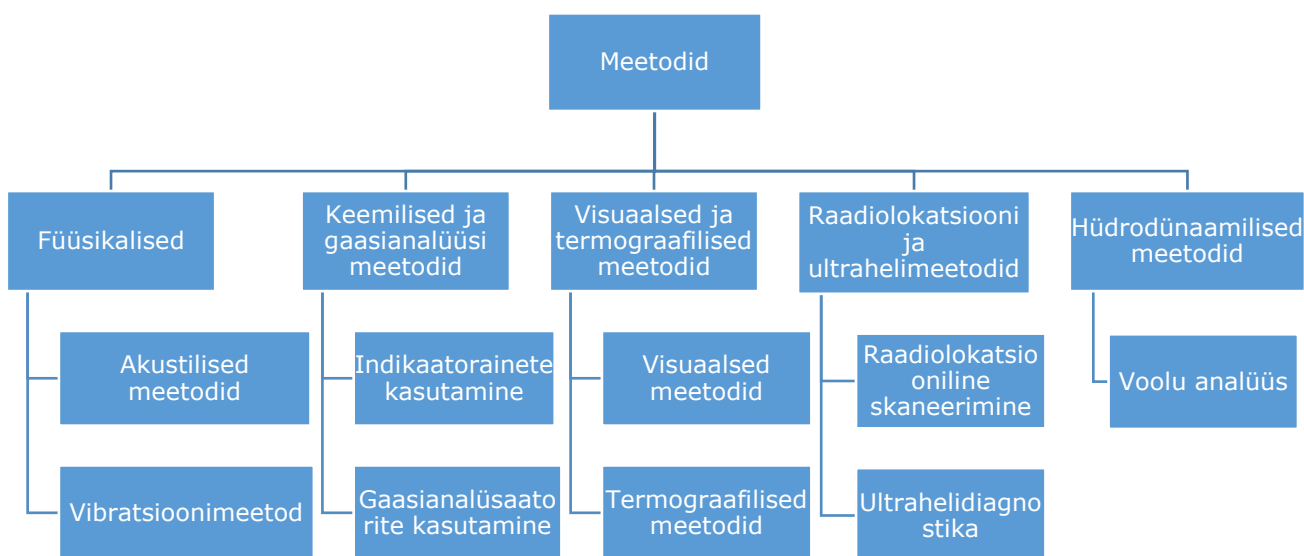
Pinnasest tingitud korrosioon jätkab probleemide tekitamist seni, kuni ei ole renoveeritud või uuendatud Nõukogude ajal ehitatud torustikke, mille isolatsioonikate on puudulik või halvas seisukorras.

Jaotus- ja peatorustikest on kaitstud katoodkaitse abil, milleks on ehitatud katoodkaitsejaama. Elektridrenaaži süsteemi, mis suunab uitvoolu tagasi algallikasse. Terasest jaotus- ja peatorustikud moodustavad ühtse süsteemi, kus osad ei ole elektriliselt teineteisest isoleeritud. Gaasitarbijate ohutuse ja katoodkaitse tõhususe tõstmiseks on paigaldatud isolaatorääriku, et elektriliselt eraldada gaasitarbijad gaasivõrgust.

2.4 Lekke avastamismeetodid

Lekete õigeaegne avastamine ja lokaliseerimine olulised ülesanded eksploatatsiooniteenuste ja insenerimeeskondade jaoks. Gaasitorustike seisundi diagnostika ja lekete tuvastamise tõhusate meetodite väljatöötamine ja rakendamine on kriitilise tähtsusega riskide minimeerimiseks ja energia süsteemi usaldusväärsuse tagamiseks.

Tänapäeval on spetsialistide arsenalis palju erinevaid tehnoloogiaid ja meetodeid, millest igaühel on oma eelised ja piirangud, sõltuvalt konkreetsetest kasutustingimustest ja gaasitorustike füüsilistest omadustest (vt Joonis 2.1). On oluline valida lekete tuvastamise meetod, mis oleks antud töökeskkonnas kõige tõhusam. Need meetodid võivad hõlmata füüsiliste, keemiliste, visuaalsete ja termograafiliste lähenemisviiside kasutamist, samuti raadiolokatsiooni ja ultraheli tehnoloogiate rakendamist, igaüks neist pakub erinevaid strateegiaid gaasivarustuse süsteemide diagnostikaks.



Joonis 2.1 Lekke avastamismeetodid

2.4.1 Füüsikalised meetodid gaasilekete otsimiseks maa-alustel torustikel

Füüsikalised lekete avastamise meetodid, nagu akustilised ja vibratsioonimeetodid, pakuvad tõhusaid vahendeid maa-aluste torustike varajaseks tuvastamiseks ja lokaliseerimiseks. Need võimaldavad kiiresti reageerida potentsiaalsetele ohtudele torustikusüsteemis, minimeerides keskkonnariske ja operatsioonilisi kadusid. Nende kasutamisel tuleb siiski arvestada mitmete oluliste aspektidega.

Seadmete valik peaks põhinema nende võimel tuvastada lekkeid varajastes staadiumides ja kõrge taustamüra tingimustes. On oluline tagada, et tehnoloogia suudaks täpselt tuvastada just leketele iseloomulikke signaale, mitte teisi vibratsiooni- või heliallikaid.

Regulaarne kalibreerimine ja seadistamine on vajalikud seadmete kõrge jõudluse säilitamiseks. See hõlmab seadistuste kohandamist konkreetsetele torustiku

kasutamistingimustele, nagu mulla tüüp, toru paigaldussügavus ja ümbritseva müra olemasolu.

Andmete kogumine ja analüüs nõuavad spetsialiseeritud teadmisi ja kogemusi. Akustiliste ja vibratsioonandmete analüüsimiseks mõeldud tipptasemel tarkvara kasutamine võib oluliselt suurendada lekete avastamise tõhusust, võimaldades kiiresti tuvastada ja lokaliseerida probleemseid alasid.

Oluliseks ülesandeks on valehäirete arvu minimeerimine, mis võivad tekkida seadmete ebatäiuslikkuse või andmete tõlgendamise vigade tõttu. On vajalik välja töötada selged kriteeriumid lekkesignaali eristamiseks taustamürast.

Füüsikaliste meetodite efektiivne kasutamine nõuab mitte ainult vastavat varustust, vaid ka kvalifitseeritud spetsialiste, kes suudavad saadud andmeid õigesti tõlgendada ja võtta asjakohaseid meetmeid.

Akustilised meetodid

Gaasi lekkimine tekitab aukudest läbi voolates akustilise signaali. Seega võib seda signaali kasutada lekke tuvastamiseks. Sisemise torustiku müra salvestamiseks tuleb kasutada akustilisi sensoreid. Neid saab integreerida käsitsi kasutatavatesse tuvastusseadmetesse, mida kasutab torustikku patrulliv personal, või nutikatesse pigidesse, mis läbivad torustikku seda inspekteerides. Pidevat monitooringut tehakse ka akustiliste sensorite paigaldamisega torustiku välisküljele teatud kaugusele üksteisest. Kahe akustilise sensori vaheline kaugus tuleb kohandada sõltuvalt akustilise sensori tundlikkusest ja eraldatud eelarvest. Sensorite liiga kaugel asetamine üksteisest suurendab tuvastamata lekete riski, samas kui liiga lähedale paigutamine suurendab süsteemi maksumust. Gaasi lekkest põhjustatud helide tuvastamiseks kasutati mitut tüüpi sensoreid.[2]

Eelised:

- Kõrge tundlikkus väikeste lekete suhtes, kasutamise võimalus laias valikus tingimustes.

Puudused:

- Ümbritseva keskkonna müra ja tehnoloogilised müraallikad võivad lekkesignaale maskeerida, seadmete hoolikas kalibreerimine on vajalik.

Vibratsioonimeetod

Vibratsioonimeetod seisneb gaasilekke tekitatud vibratsioonide analüüsimises maa-alusest torustikust. Need vibratsioonid erinevad torustiku normaalsest tööst ja neid saab tuvastada vibratsiooniandurite abil. Gaasilekke tekitab torustikus rõhu muutuse tõttu spetsiifilise vibratsiooni. See vibratsioon erineb taustamürast ja seda saab sensoritega registreerida. Andurid võib paigaldada otse torustikule või selle vahetus läheduses, et tagada maksimaalne tundlikkus lekete põhjustatud vibratsioonidele.

Eelised:

- Võimeline avastama lekkeid varajases staadiumis, enne kui need muutuvad kriitiliseks.

Puudused:

- Võib olla tundlik väliste vibratsiooniallikate suhtes, nagu mööduv transport või ehitustööd, mis nõuab signaali täiendavat filtreerimist.

2.4.2 Keemilised ja gaasianalüüsi meetodid

Keemilised ja gaasianalüütilised lekete avastamise meetodid hõlmavad erinevate tehnoloogiate kasutamist spetsiifiliste keemiliste ühendite tuvastamiseks või gaasi koostises toimuvate muutuste märkamiseks, mis võivad viidata lekke olemasolule. Neid meetodeid kasutatakse sageli lekete täpseks lokaliseerimiseks ning neid saab kasutada nii iseseisvate tööriistadena kui ka koos teiste lähenemisviisidega.

Gaasianalüsaatorite kasutamine

Gaasianalüsaatorid on kaasaskantavad või statsionaarsed seadmed, mis mõõdavad õhus olevate teatud gaasikomponentide kontsentratsiooni. Need võivad olla seadistatud tuvastama konkreetseid gaase, nagu metaan, etaan, propaan ja teised maagaasi või naftasaaduste komponendid.

Gaasianalüsaatorid töötavad erinevate tehnoloogiate alusel, sealhulgas infrapuna spektroskoopia, elektrikeemiline sensoritehnoloogia, pooljuhtandurid jne. Seadmed suudavad tuvastada lekkeid, tõmmates õhku otse eeldatavast lekkekohast või analüüsides proove, mis on võetud torustiku lähedalt. Gaasianalüsaatorid on laialdaselt kasutusel tööstusrajatiste rutiinseks jälgimiseks, samuti kiireks diagnostikaks, kui on kahtlus lekkes.

Eelised:

- Võivad tuvastada väga madalaid gaasikontsentratsioone, mis teeb neist ideaalsed seadmed lekete varajaseks avastamiseks ja võimalike õnnetuste ärahoidmiseks.
- Paljud gaasianalüsaatorid on kaasaskantavad, mis võimaldab neid kasutada otse kohapeal, lihtsustades kontrollide teostamist erinevatel objektidel ja erinevates tingimustes.
- Gaasianalüsaatorid võimaldavad kiiret diagnostikat, mis on kriitilise tähtsusega kiireks reageerimiseks lekete korral.

Puudused:

- Kõrgtäpsed gaasianalüsaatorid võivad olla üsna kallid, mis võib piirata nende kättesaadavust mõnedele väikestele või keskmise suurusega ettevõtetele.
- Gaasianalüsaatorite tõhusaks kasutamiseks on vajalik kvalifitseeritud personal, samuti seadmete regulaarne tehniline hooldus ja kalibreerimine.

- Mõned gaasianalüsaatorite mudelid võivad olla piiratud tööraadiusega või nõuda täpseks analüüsiks gaasi allika lähedust.

Indikaatorainete kasutamine

See meetod hõlmab torustikku eriliste ainete viimist, mis on pinnasensoritega kergesti tuvastatavad. Sellisteks aineteks võivad olla märgistatud isotoobid, fluorestseerivad värvained või keemilised markerid unikaalse koostisega.

Indikaator lisatakse überpumbatava aine voolu. Lekke korral väljub see indikaator torustikust koos überpumbatava tootega ja seda saab tuvastada spetsiaalsete detektorite või analüsaatoritega maapinnal. Meetodit kasutatakse laialdaselt, kui on vajalik lekke täpne lokaliseerimine, eriti keerulistes või mitmekanalilistes torustikusüsteemides. Markerained on eriti tõhusad tingimustes, kus teised meetodid võivad olla ebaefektiivsed, näiteks mürarikkas tööstuslikus või linnakeskkonnas, kus akustiline lekete tuvastamine muutub keeruliseks.[15]

Mõned meetodid nõuavad ainete kasutamist, mis võivad olla ohtlikud keskkonnale või inimeste tervisele. On hädavajalik rangelt järgida kõiki ohutusnorme töötamisel keemiliste indikaatoritega ning tagada nende ohutu säilitamine ja kõrvaldamine.

Gaasianalüsaatorid ja muud sensorid peavad olema piisavalt tundlikud, et tuvastada gaasi madalaid kontsentratsioone, mis on eriti oluline lekete varajaseks avastamiseks ja avariide ärahoidmiseks. Seadmete regulaarne kalibreerimine ja tehniline hooldus on kriitilise tähtsusega nende täpsuse ja usaldusväärsuse säilitamiseks. Kalibreerimata või rikkis seadmete kasutamine võib viia lekete möödalaskmiseni või valehäireteni.

Keemiliste ja gaasianalüütiliste meetodite efektiivne kasutamine nõuab spetsialiseeritud teadmisi ja oskusi. Lekete jälgimise ja avastamise eest vastutav personal peab läbima asjakohase koolituse seadmete kasutamiseks ja saadud andmete tõlgendamiseks.

Keemilised ja gaasianalüütilised meetodid on maa-aluste torustike lekete tuvastamise süsteemis olulise tähtsusega, tagades lekete täpse ja õigeaegse avastamise. Nende rakendamine nõuab hoolikat lähenemist seadmete valikule, personali koolitamisele ja andmeanalüüsile, et maksimeerida torustikusüsteemide ohutust ja usaldusväärsust.

Eelised:

- Märkainete, nagu fluorestseerivad värvid või keemilised markerid kasutamine võimaldab täpselt kindlaks määrata lekke asukohta, mis on kriitilise tähtsusega keerukates või mitmekanalilistes torustikusüsteemides.
- Meetod on eriti tõhus olukordades, kus teised meetodid võivad olla ebaefektiivsed, näiteks mürarikkas tööstuslikus või linnakeskkonnas, kus akustiline lekete tuvastamine võib olla raskendatud.
- Indikaatorite lisamine überpumbatavasse tootesse võimaldab kiiresti avastada lekkeid, kuna indikaator väljub süsteemist koos lekkinud tootega.

Puudused:

- Meetod nõuab spetsialiseeritud teadmisi ja oskusi, samuti personali asjakohast koolitust.
- Mõned indikaatorained võivad olla ohtlikud, nõudes nende kasutamisel, säilitamisel ja kõrvaldamisel rangeid ohutusmeetmeid.

2.4.3 Visuaalsed ja termograafilised meetodid

Visuaalsed ja termograafilised meetodid on efektiivsed lähenemisviisid gaasilekete tuvastamiseks, põhinedes lekete põhjustatud muutuste visualiseerimisel nähtavas või infrapunasppektris.

Visuaalsed meetodid

Visuaalsed meetodid hõlmavad torustiku ja ümbritseva keskkonna otsest ülevaatus nähtavate lekete tunnuste osas. See võib olla muutused torustiku kohal asuva taimestiku värvis või seisundis, plekkide või muude jälgede ilmumine mulla pinnale, samuti gaasi väljumise või selle mullide täheldamine, kui leke asub veekeskkonnas.[16]

Eelised:

- Visuaalne kontroll on üks lihtsamaid ja otsesemaid meetodeid lekete tuvastamiseks torujuhtmetes.

Puudused:

- Rakendatavus piirdub ainult pinnapealsete torustike või piisavalt suurte lekete tuvastamisega, mida on võimalik visuaalselt jälgida.

Termograafilised meetodid (soojusvisioonidiagnostika)

Termograafilised meetodid põhinevad infrapunakaamerate kasutamisel torustike ja ümbritseva keskkonna soojuspiltide jäädvustamiseks. Soojusvisioonikaamerad suudavad tuvastada temperatuurimuutusi, mida põhjustavad gaasilekked, kuna torustikust väljuv gaas omab erinevat temperatuuri võrreldes ümbritseva keskkonnaga.

Eelised:

- Võime tuvastada lekkeid suurelt kauguselt ja raskesti ligipääsetavates kohtades.
- Võimalus töötada öösel või halva nähtavuse tingimustes, kuna meetod põhineb soojuskiirgusel, mitte visuaalsel tajul.
- Suurte alade kiire läbivaatuse võimalus, eriti kasutades droonidele paigaldatud soojusvisioonikaameraid.

Puudused:

- Kõrge soojusvisiooniseadmete hind.
- Vajadus operaatorite spetsialiseeritud koolituse järele soojusvisioonipiltide õigeks tõlgendamiseks.
- Võimalik väliste tegurite, nagu päikesekiirgus, ümbritseva keskkonna temperatuuri kõikumised, mõju lekete tuvastamise täpsusele.

Visuaalsete ja termograafiliste lekete avastamise meetodite integreerimine maa-alustel torustikel kujutab endast terviklikku lähenemist, mis tagab potentsiaalsete probleemsete kohtade kõrge efektiivsusega tuvastamise, võimaldades õigeaegselt võtta vajalikke meetmeid torustikusüsteemide ohutuse ja usaldusväärsuse tagamiseks.

2.4.4 Raadiolokatsiooni ja ultrahelimeetodid

Raadiolokatsiooniline skaneerimine

Raadiolokatsiooni meetodid kasutavad raadiolaineid, et tuvastada muutusi mullastruktuuris või torustikus endas, mis võivad viidata lekke olemasolule. Neid meetodeid rakendatakse sageli kasutades maapinda läbistavat radarit (Ground Penetrating Radar, GPR), mis on võimeline avastama erinevusi materjalide elektromagnetilistes omadustes maa pinnase all.

GPR kiirgab lühikesi elektromagnetilise energia impulsse mulda. Kui need impulsid puutuvad kokku objektidega, millel on erinevad elektromagnetilised omadused (näiteks veest või gaasist põhjustatud leke torust), peegelduvad nad tagasi pinnale, kus need registreerib vastuvõttev antenn.

Eelised:

- Võime tuvastada lekkeid erinevatel sügavustel ilma vajaduseta füüsiliselt sekkuda torustiku struktuuri või ümbritsevasse keskkonda.

Puudused:

- Meetod võib olla vähem efektiivne tugevalt niisketes muldades või tingimustes, kus esinevad muud objektid, mis maskeerivad lekkesignaali.

Ultrahelidiagnostika

Ultrahelimeetodid lekete tuvastamiseks põhinevad kõrgsageduslike helilainete kasutamisel, mis ei ole inimkõrvale kuuldavad. Neid meetodeid kasutatakse nii lekke helide otseseks tuvastamiseks kui ka torustiku materjali struktuuri muutuste mõõtmiseks.[17]

Ultraheli detektor kiirgab kõrgsageduslike helilaineid, mis peegelduvad tagasi detektorile, kui need kohtuvad torustikust lähtuva lekkega. Peegeldunud signaali omaduste muutuse põhjal saab teha järeldusi lekke olemasolu ja asukoha kohta.

Eelised:

- Kõrge täpsus ja tundlikkus väikeste lekete suhtes, võime toimida laias tingimuste vahemikus.

Puudused:

- Kasutamise raskused kõrge ümbritseva müra taseme või suurte sügavuste juures. Vajadus detektori otsese kontakti või läheduse järele uuritava pinnaga.

Ultrahelidetektorid võivad samuti olla kasutusel torustiku seisukorra hindamiseks, määrates potentsiaalsete lekete asukohad isegi enne nende tekkimist, analüüsides

muutus materjali struktuurses terviklikkuses. See võib hõlmata korrosiooni, pragude või teiste defektide tuvastamist, mis ajapikku võivad põhjustada lekke.

Raadiolokatsiooni ja ultrahelimeetodite integreerimine on võimas vahend maa-alustel torustikel lekete tuvastamiseks ja lokaliseerimiseks, võimaldades kiiresti reageerida potentsiaalsetele ohtudele ning ennetada võimalikke õnnetusi ja keskkonnamõjusid.

2.4.5 Hüdrodünaamilised meetodid

Hüdrodünaamilised meetodid põhinevad analüüsil muutustest ümberpumbatava toote (näiteks gaasi) voolu parameetrites, mida põhjustavad lekked. Need meetodid võimaldavad lekkeid tuvastada, jälgides ja analüüsides rõhu, voolukiiruse, temperatuuri ja teiste füüsikaliste parameetrite muutusi torustikusüsteemi erinevates punktides.

Voolu analüüs

Diferentsiaalrõhu ja vooluhulga meetod - üks levinumaid lähenemisi lekete tuvastamiseks on erinevate torustiku osade rõhu ja vooluhulga näitajate võrdlemine. Rõhu vähenemine või vooluhulga muutus teatud segmendis võib viidata lekke olemasolule.

Massibilansi meetod - see meetod põhineb süsteemi siseneva ja süsteemist väljuva aine hulga võrdlemisel. Nende väärtuste vaheline erinevus võib viidata kadudele, sealhulgas leketele.[18]

Voolumudelite kasutamine - täiustatud matemaatilised ja arvutimudelid voolu käitumise prognoosimiseks torustikus võimaldavad täpselt ennustada voolu käitumist. Iga prognoositud väärtustest kõrvalekaldumist analüüsitakse lekete tuvastamise eesmärgil. Kaasaegsed torustikusüsteemid on varustatud rõhu- ja temperatuurianduritega, mis on paigutatud strateegiliselt olulistesse kohtadesse. Nende andurite andmeid analüüsitakse reaajas, et tuvastada lekete tunnuseid.

Eelised:

- Võimalus jälgida pidevalt suuri torustiku lõike.
- Kõrge efektiivsus isegi väikeste lekete tuvastamisel.
- Võime pakkuda andmeid kiireks reageerimiseks ja kahjude minimeerimiseks.

Puudused:

- Andurite ja mõõteseadmete paigaldamise ning hoolduse kõrge hind.
- Vajadus keerukate andmetöötlusalgoritmide ja saadud teabe analüüsi järele.
- Võimalikud raskused andmete tõlgendamisel erinevate väliste tegurite mõju tõttu (näiteks keskkonnamõjude muutused, rõhu kõikumised jne).

2.4.6 Kokkuvõtte

Meetodi ja seadmete valik peaks arvestama ümberpumbatava toote eripära ja võimalikke väliste segajate allikaid. On oluline kasutada neid tehnoloogiaid ja aineid,

mis reageerivad kõige täpsemalt ja spetsiifiliselt otsitava gaasi komponentidele. Lekete tuvastamise efektiivsuse suurendamiseks on oluline integreerida erinevate meetoditega saadud andmed ühtsesse informatsioonisüsteemi. See võimaldab luua tervikliku ülevaate torustikusüsteemi seisundist ja lokaliseerida lekked täpsemini. Selge tegevuskava olemasolu lekke tuvastamisel on turvalisusstrateegia võtmelement. See peaks hõlmama teavitamisprotseduure, riskihindamist ja lekke kõrvaldamise meetmeid vastavalt ohutusnõuetele ja keskkonnakaitsele.

2.5 Mullaomaduste mõju gaasilekete tuvastamisele: probleemid ja piirangud.

Hoolimata paljude kaasaegsete meetodite tõhususest, on olemas teatud piirangud, mis on seotud mulla füüsikaliste ja keemiliste omadustega. Üheks selliseks takistuseks on mulla võime absorbeerida lekkinud gaasi, mis võib oluliselt raskendada selle avastamise protsessi. Erinevad pinnaseolud mängivad olulist rolli lekkiva maagaasi käitumises, mõjutades seda, kui kiiresti ja millises suunas gaas lekkekohast levib. Siin on peamised aspektid, kuidas mullatüüp võib gaasilekkeid mõjutada.[19]

Pinnase poorsus ja läbilaskvus

Poorsus määrab pinnase pooride mahu, mis võib olla gaasiga täidetud. Kõrge poorsus tähendab rohkem ruumi gaasile, mis võib suurendada lekke mahtu, kuid aeglustada selle levikut suurenenud ruumi tõttu, mille kaudu gaas peab liikuma.

Läbilaskvus kirjeldab pinnase võimet lasta endast läbi vedelikke või gaase. Kõrge läbilaskvus kiirendab gaasi levikut lekke kohast, suurendades riske ja raskendades lekete varajast avastamist.

Mullatüübid

Savimullad ja savi tihedad ja vähe läbilaskvad, need võivad aeglustada gaasi levikut, muutes gaasipilve kontsentreeritumaks lekkekoha lähedal. See suurendab plahvatuse riske, kuid võib hõlbustada avastamist, kui leke on pinnale lähedal.

Liivad ja kruus: Need mullad on kõrge läbilaskvusega, mis võimaldab gaasil kiiresti ja suurtele vahemaadele levida. See raskendab lekke lokaliseerimist ja nõuab tundlikumaid tuvastusmeetodeid suurtel aladel.

Mulla niiskus

Niiske muld võib toimida gaasi barjäärina, aeglustades selle liikumist kõrge tiheduse ja vähese läbilaskvusega vee küllastunud pooride tõttu. Kuid see võib samuti põhjustada gaasi laiema leviku mulla ülemistes kihtides, kui gaas suudab niiske kihi ületada.

Mõju avastamismeetoditele

Mulla võime juhtida heli või vibratsiooni (tähtis akustiliste meetodite jaoks) ja selle soojusomadused (tähtsad infrapuna- ja termograafiliste meetodite jaoks) varieeruvad

samuti sõltuvalt mulla tüübist ja seisundist. See nõuab avastamismeetodite ja andmete tõlgendamise kohandamist sõltuvalt kohalikest tingimustest.

Mõistmine, kuidas mullatüüp mõjutab lekkiva gaasi käitumist, võimaldab täpsemalt seadistada lekete jälgimis- ja ennetamissüsteeme ning välja töötada tõhusad strateegiad leketele reageerimiseks erinevates geoloogilistes tingimustes.

3.Uuringu metoodika

Iga gaasivõrgu peamine element on torustikud, mille omadused määravad mitte ainult gaasi edastamise efektiivsuse, vaid ka süsteemi üldise ohutuse. Torustikud klassifitseeritakse mitme parameetri järgi, sealhulgas materjali, diameetri, lubatud rõhu ja vastupidavuse järgi. Erinevad klassifikatsioonid võimaldavad gaasivõrke kohandada spetsiifilistele eksploatatsioonitingimustele ja keskkonnanormidele.

Käesolevas töös analüüsitakse erinevat tüüpi torusid, mida kasutatakse Tallinna gaasivõrkudes, keskendudes nende omadustele ja klassifikatsioonidele. See võimaldab mitte ainult üksikasjalikult kirjeldada gaasiinfrastruktuuri komponente, vaid ka hinnata nende kohandamist praegustele ohutus- ja efektiivsusnõuetele.

Selline lähenemine gaasivõrgu analüüsimisele on oluline nii infrastruktuuri praeguse seisundi mõistmiseks kui ka tulevaste moderniseerimiste ja paranduste planeerimiseks, mis on suunatud usaldusväärsuse ja keskkonnasõbralikkuse suurendamisele.

3.1 Toru omadused

Torustikud klassifitseeritakse nende funktsionaalse otstarbe järgi ja hõlmavad järgmisi kategooriaid: ülekandetorustikud, jaotustorustikud, tarnetorustikud ja hoonesisendused.

Teise klassifikatsiooni kohaselt jaotatakse torustikud nende töö rõhu alusel ja nende kategooriate jaotumine on esitatud Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Töötorstike kategooriad vastavalt töö rõhule [20]

Töö rõhk (bar)	Klass
$P > 16$	D kategooria
$5 < P \leq 16$	C kategooria
$0,1 < P \leq 5$	B kategooria
$P \leq 0,1$	A kategooria

Klassifikatsioon on näidatud ka Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Gaasitorustike klassifikatsioon kasutusotstarbe, töö rõhkude ja paigaldusviisi järgi

Otstarbe järgi	ülekandetorustik
	jaotustorustik
	tarnetorustik
	hoonesisendused
Töö rõhkude järgi	$P > 16$
	$5 < P \leq 16$
	$0,1 < P \leq 5$

	P≤0,1
Paigaldusviisi järgi	maa-alused torustikud
	tugedele paigaldatud maapealsed torustikud
	hoonete seintele paigaldatud maapealsed torustikud

Gaasivõrgu omaduste kvantitatiivseks hindamiseks Tallinnas viiakse läbi erinevate kategooriate torujuhtmete kogupikkuse määramine. See analüüs hõlmab Tallinna võrkude osakaalu võrdlemist kogu Eesti gaasitarituga ning erinevate torukategooriate jaotust nii Tallinnas kui ka kogu Eestis.

Lisaks viiakse läbi polüetüleenist (PE) torude kasutamise analüüs gaasivõrkudes, mis võimaldab hinnata nende osakaalu ja funktsionaalsust kaasaegsete eksploatatsiooni kindluse ja keskkonnaohutuse nõuete kontekstis. Uuring hõlmab mitte ainult PE torude kasutamise kvantitatiivset hindamist, vaid ka nende panuse kvalitatiivset analüüsi gaasitaritu efektiivsuse ja jätkusuutlikkuse tõstmisel. Polüetüleenist torud pakuvad gaasivõrkude kasutamisel mitmeid eeliseid terastorude ees. Need eelised muudavad need populaarseks valikuks uute projektide ja olemasolevate süsteemide moderniseerimiseks.[21]

Siin on peamised polüetüleenist torude eelised:

- Korrosioonikindlus - polüetüleen ei allu korrosioonile, mis võib olla tõsine probleem terastorude puhul, eriti niisketes või agressiivsetes pinnaseoludes. See pikendab torustiku eluiga ja vähendab hoolduskulusid.
- Pikaajaline vastupidavus - polüetüleenist torud on väga löögikindlad, muutes need transpordi ja paigaldamise ajal vähem haavatavaks, samuti kasutuse ajal.
- Paindlikkus - polüetüleenist torud on paindlikud, mis võimaldab neil taluda maavärinaid ja muid sarnaseid koormusi ilma purunemata. See paindlikkus lihtsustab ka nende paigaldamist keerulistest või muutuvates maastikes.
- Paigaldamise lihtsus - polüetüleenist torud on kergemad kui terastorud, mis lihtsustab nende transportimist ja paigaldamist. Samuti vajavad nad vähem ühenduselemente ja liitmikke, kuna neid saab toota pikkades katkematutes segmentides.
- Kulutõhusus - kuigi polüetüleenist torude esialgne maksumus võib olla kõrgem, on nende üldine omamiskulu sageli madalam tänu vähendatud hoolduskuludele ja pikemale elueale.
- Keemiline vastupidavus - polüetüleen on vastupidav paljudele keemilistele ainetele, mis teeb selle sobivaks kasutamiseks erinevates töötingimustes, kus terastorud võivad alluda keemilisele korrosioonile.

- Vähem keskkonnamõju - polüetüleenist torude tootmine ja utiliseerimine avaldab keskkonnale vähem mõju võrreldes terastorudega, mis on oluline jätkusuutliku arengu kontekstis.

Need tegurid muudavad polüetüleenist torud eelistatud valikuks kaasaegsetes gaasivõrkudes, eriti olukordades, kus on vaja pikaajalist usaldusväärsust ja korrosioonikindlust.

Torude täpsemate omaduste kirjeldamiseks esitatakse võrgustike jaotumine diameetrite järgi materjaliti.

Lisaks kuvatakse torude vanusejaotus, jagades need kolme kategooriasse: gaasitorud vanusega üle 30 aasta, gaasitorud vanusega 20-30 aastat, gaasitorud vanusega 10-20 aastat ja gaasitorud vanusega kuni 10 aastat.

Samuti on arvutatud torude keskmine vanus ja selle muutused viimase viie aasta jooksul. (vt Valem (3.1))

$$Vanus_{keskmine} = \frac{(1 * l_1 + 2 * l_2 + 3 * l_3 + \dots + x * l_x)}{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_x} \quad (3.1)$$

Kus l_1 on kuni 1-aastane torude pikkus (km),

l_2 on kuni 2-aastane torude pikkus (km),

l_x on kuni (x-1) kuni x-aastase vanusega torude pikkus (km).

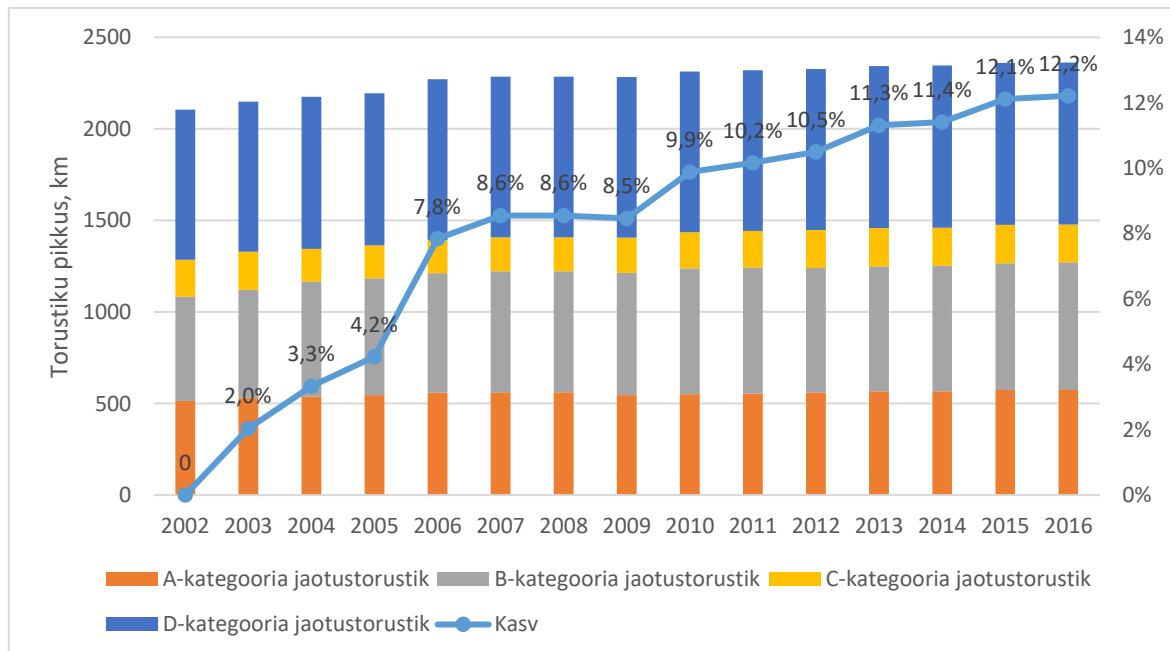
4. Gaasivõrgud

Eesti gaasivõrk koosneb gaasitorustikest ja nendega seotud rajatistest. Gaasitorustike all tuleb mõista maaaluseid või maapealseid gaasitorusid koos nende juurde kuuluvate rajatiste, seadmete ja armatuuriga.

Aastal 2016 oli Eestis gaasitorustike pikkus, jaotatuna kategooriate A, B, C ja D järgi, järgmine: A-kategooria - 573 km, B-kategooria - 698 km, C-kategooria - 206 km ja D-kategooria - 885 km. Gaasisüsteemi kogupikkuse kasv aastatel 2002 kuni 2016 oli 12,2% (vt Joonis 4.1). See peegeldab stabiilset ja järjepidevat infrastruktuuri suurendamist Eesti gaasivarustuse sektoris nimetatud perioodil.

Suurim aastane torustiku pikkuse kasv täheldati 2006. aastal ja oli 3,61%. See kasv võib olla seotud gaasi nõudluse suurenemisega, gaasivõrkude laiendamisega uutesse piirkondadesse või olemasolevate torustike moderniseerimisega. Selline suurenemine rõhutab gaasiinfrastruktuuri investeeringute tähtsust ja ajakohasust, et rahuldada kasvavat nõudlust ja tagada riigi energiaturvalisus.

See analüüs demonstreerib gaasiinfrastruktuuri aktiivset arengut Eestis ja rõhutab selliste investeeringute strateegilist tähtsust kindla ja tõhusa gaasivarustuse tagamiseks aastate jooksul.



Joonis 4.1 Gaasijaoturustike jaotus kategooriate kaupa ning nende kasv (2002-2016) [22]

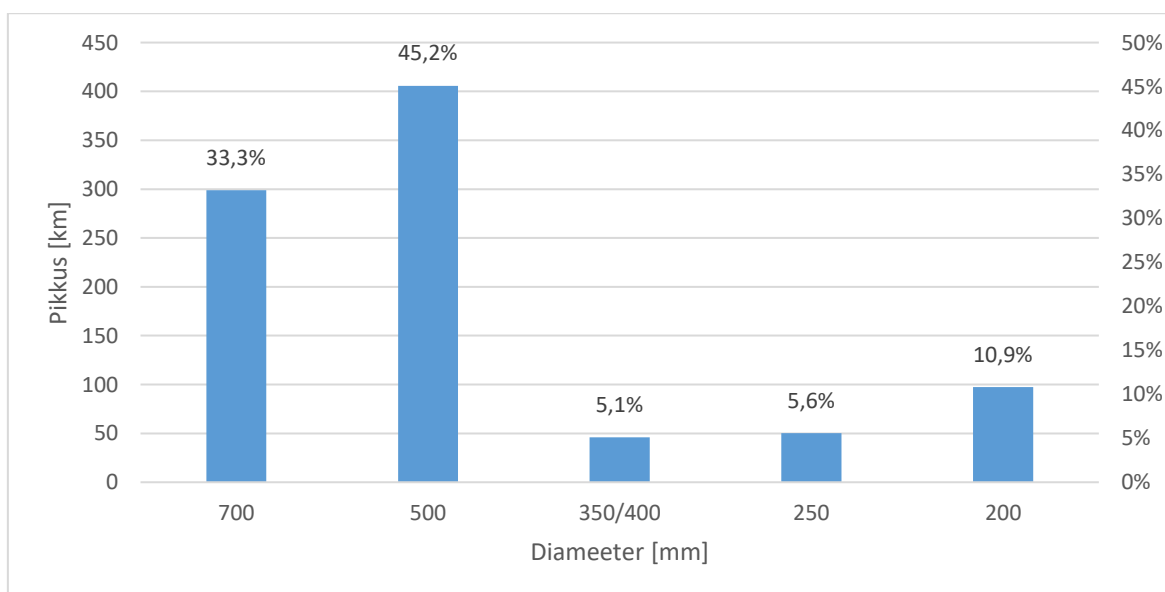
4.1 Eesti maagaasi ülekandevõrgu torustik

Eesti ülekandevõrk koosneb mitmest erinevast torustikust. Torustikud erinevad üksteisest maksimaalse lubatud töö rõhu (MOP), diameetri ja vanuse poolest, mis on näidatud Tabel 4.1 allpool. [23]

Tabel 4.1 Eesti maagaasi ülekandevõrgu torustik [23]

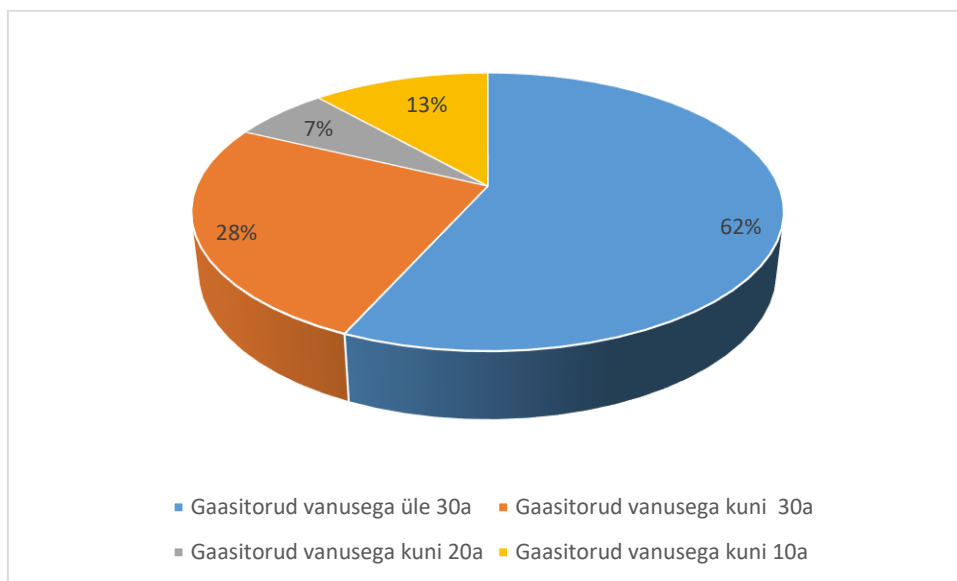
Torustik	Pikkus [km]	Nimidiameeter [mm]	Maksimaalne töö rõhk [bar]	Ekspluatatsiooniline vanus [a]
Vireši - Tallinn	203	700	49	30
Vändra - Pärnu	50,2	250	54	16
Tallinn - Jõhvi D38	97,5	200	≤30,0	69
Tallinn - Jõhvi D38	148,3	500	≤30,0	59
Kohtla-Järve - Narva	46,1	350/400	≤30,0	67
Irboska - Värska GMJ	10,1	500	48	47
Värska GMJ - Tartu	75,8	500	39,5	47
Tartu - Rakvere	133	500	30,6	44
Irboska - Inčukalns	21,3	700	50,3	38
Pihkva - Riia	21,3	700	50,3	50
Balticconnector maismaatorustik	53,4	700	54	3
Balticconnector meretorustik	38,5	500	80	3
Harutorustikud	76,9			
Kokku	977			

Joonis 4.2 iseloomustab terase gaasitorustike pikkuse jaotust diameetri järgi. Suurim osakaal on DN500 torustikul, mis moodustab 45,2% kogu pikkusest.



Joonis 4.2 Terasest gaasitorustike pikkuse jaotus diameetri järgi [23]

Joonis 4.3 on näidatud, et enamik Eesti gaasitorudest (62%) on vanemad kui 30 aastat. Täiendav 28% gaasitorudest on vanusega kuni 30 aastat, mis viitab perioodilistele uuendustele ja investeeringutele gaasiinfrastruktuuri hilisemal perioodil. Nooremad torukategooriad, nagu need, mis on nooremad kui 20 aastat (7%) ja 10 aastat (13%), kuigi moodustavad võrgustiku väiksema osa, peegeldavad jätkuvaid jõupingutusi võrgustiku moderniseerimiseks ja laiendamiseks, mis on oluline selle funktsionaalsuse säilitamiseks ja kohandamiseks kaasaegsetele turva- ja efektiivsusnõuetele. Keskmine torude vanus on 41,73 aastat.



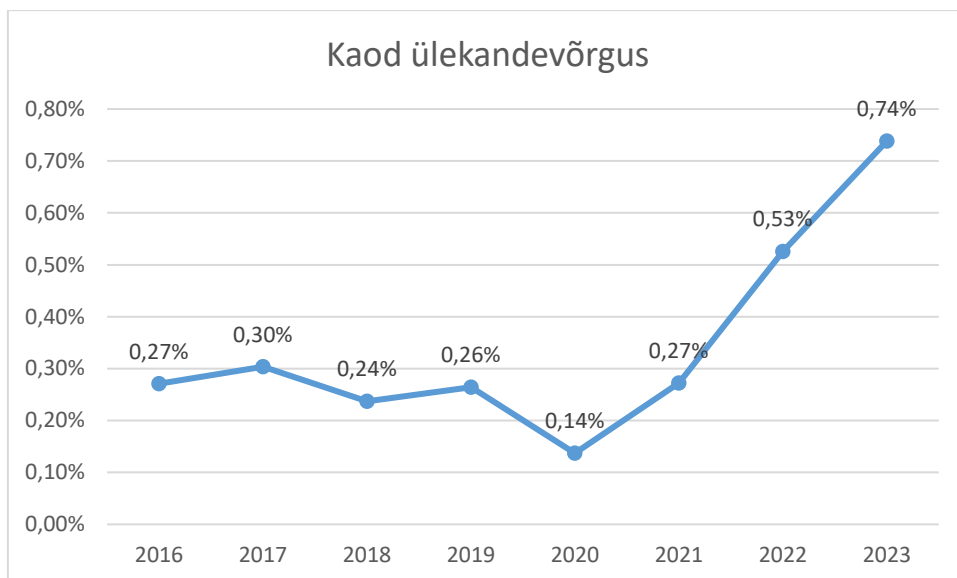
Joonis 4.3 Ülekandegaasitorustike vanuseline jaotus [23]

4.2 Kaod ülekandevõrgus

Andmete analüüs Eestis gaasi kadude kohta perioodil 2016 kuni 2023 näitab, et kahjude tase oli suhteliselt stabiilne ja ei ületanud 0,3% enne aastat 2021. Siiski täheldatakse 2023. aastal kadude taseme märkimisväärset hüpet kuni 0,74%-ni (vt Joonis 4.4), mis on peaaegu 2,5 korda kõrgem kui eelnevate aastate keskmine tase.

See gaasikadude järsu tõusu 2023. aastal võivad põhjustada mitmed tegurid. Üheks võimalikuks stsenaariumiks on avariolukord gaasijuhtmel Balticconnector, mis võis põhjustada lekete suurenemist. Balticconnector on infrastruktuuri võtmelement, mis ühendab Eesti ja Soome gaasisüsteeme, ja igasugused probleemid selles osas võivad avaldada tõsiseid tagajärgi mõlemale riigile.

On tähtis märkida, et madal lekete tase kuni 2021. aasta näitab varasemate hooldus- ja haldusmeetmete kõrget efektiivsust. Seega nõuab praegune kadude kasv gaasisüsteemi operaatoritelt erilist tähelepanu, et välistada edasisi majanduslikke kaotusi ja riske keskkonnale ning elanikkonna ohutusele. [24]



Joonis 4.4 Kaod ülekandevõrgus [24]

4.3 Gaasitorustike avariide analüüs ja nende jaotumine

Vastavalt EGIG (European Gas Pipeline Incident Data Group) aruandele aastate 1970–2019 kohta saab gaasitorustike avariid jaotada mitme peamise põhjuse järgi (vt Joonis 4.5). Analüüs näitab, et kõige sagedasemad avariide põhjused on välised sekkumised, korrosioon, konstruktsioonivead, eksimused ühendamisel (hot tap errors) ja pinnase liikumised.

Avarii peamised põhjused:

Välised sekkumised:

- Välised sekkumised (näiteks ehitustööd, kaevetööd) moodustavad olulise osa avariidest.
- Neid avariisid iseloomustab kõrge sagedus ja tõsised tagajärjed, nagu suured lekkes ja torude rebenemised.
- Viimase aasta jooksul (2009-2019) moodustasid välised sekkumised 27% kõigist registreeritud avariidest.

Korrosioon:

- Korrosioon on teine peamine avariide põhjus, sealhulgas sisemine ja väline korrosioon.
- Enamik korrosioonikahjustusi põhjustavad väikeste aukude ja pragude tekkimist.
- Korrosioonist tingitud avariid moodustasid samuti 27% kõikidest juhtumitest viimase aasta jooksul (2009-2019).

Konstruktsioonivead ja materjalide rikked:

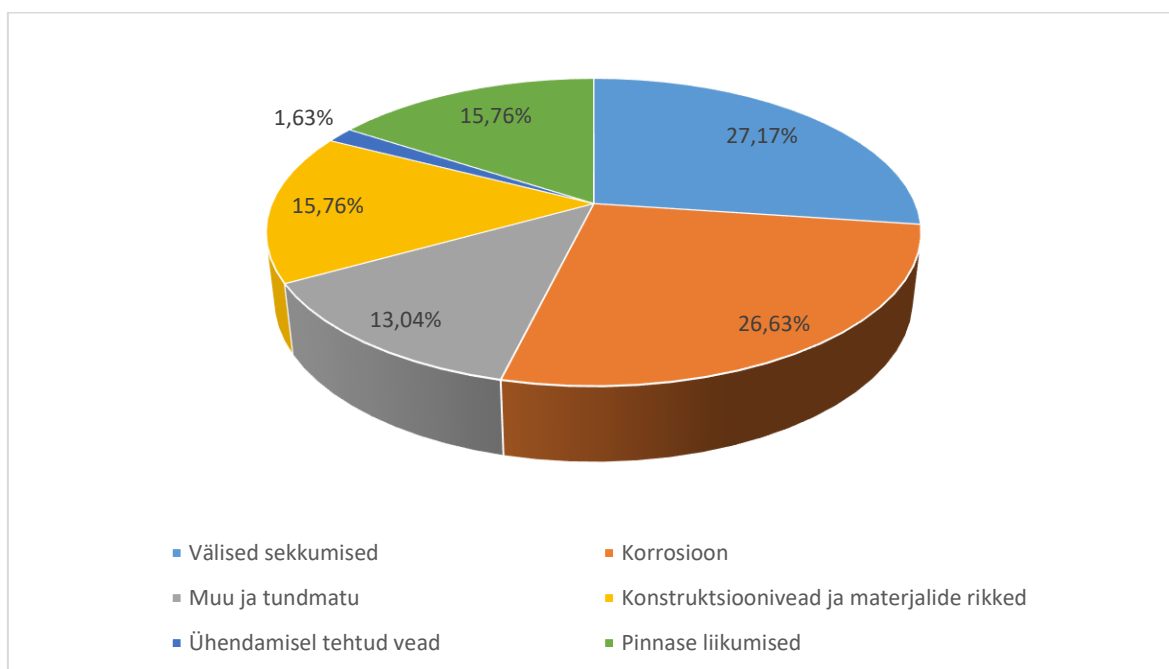
- Avariid, mis on põhjustatud konstruktsioonivigadest ja materjalide rikest, hõlmavad keevitusvigu, halva kvaliteediga materjalide kasutamist ja tootmisvigu.
- Need avariid moodustasid viimase aasta jooksul (2010-2019) 16% kõikidest juhtumitest.

Ühendamiselt tehtud vead (hot tap errors):

- Ühendamiselt tehtud vead tekivad, kui gaasitorustikku ühendatakse ekslikult, arvates, et see on teine toru.
- Selliste avariide sagedus on oluliselt madalam võrreldes teiste põhjustega, moodustades vähem kui 1% kõikidest juhtumitest viimase 10 aasta jooksul.

Pinnase liikumised:

- Pinnase liikumised, nagu maalihe, erosioon ja üleujutused, on samuti olulised avariide põhjused.
- Need moodustasid viimase aasta jooksul (2010-2019) 16% kõikidest juhtumitest ja võivad põhjustada torustike olulisi kahjustusi.



Joonis 4.5 Rikked Euroopas(2010 – 2019) [25]

Statistiline analüüs ja avariide jaotumine:

EGIG andmete analüüsi põhjal võib välja tuua mitmeid võtmetendense:

- Gaasitorustike rikete üldine sagedus on langenud 0,87 juhtumilt 1000 km kohta aastas 1970. aastal kuni 0,13 juhtumini 1000 km kohta aastas 2019. aastal.
- Kõige sagedasemad lekketüübid hõlmavad väikeseid auke ja pragusid, samas kui suured rebenemised esinevad harvemini.

- Korrosioon põhjustab kõige sagedamini väikeste aukude ja pragude tekkimist, samas kui välised sekkumised ja pinnase liikumised põhjustavad sagedamini suuri lekkeid ja rebenemisi.

4.4 Regionaalne gaasiülekandevõrk

Regionaalne maagaasi ülekandevõrk mängib olulist rolli Balti riikide ja Soome stabiilse ja usaldusväärse maagaasiga varustamise tagamisel. See võrk katab Eesti, Läti, Leedu ja Soome territooriumid, ühendades nende riikide riiklikud gaasisüsteemid ja võimaldades nii sisemist kui ka rahvusvahelist gaasi transiiti (vt Joonis 4.6). Regionaalsel maagaasi ülekandevõrgul on strateegiline tähtsus piirkonna energiajulgeoleku tagamisel. See võimaldab mitmekesistada gaasi allikaid, vähendab sõltuvust ühest tarnijast ja soodustab konkurentsivõimelisema gaasiturgu loomist. [27]



Joonis 4.6 Regionaalne maagaasi ülekandevõrk [26]

Gaasitorustike pikkuse andmete analüüs, mis on esitatud Eesti, Läti, Leedu ja Soome jaoks, näitab erinevusi torustike kasutamisel ja jaotamisel diameetrite ning funktsionaalse otstarbe järgi (vt Joonis 4.7).

Eesti

Eesti demonstreerib torustike mitmekülgset kasutamist, kus domineerivad kuni 700 mm diameetriga torud, mis moodustavad suure osa nii ülekandetorustikest kui ka jaotus- ja tarnetorustikest. Samuti kasutatakse Eestis 700-900 mm diameetriga torusid, kuid suuremaid diameetreid ei kasutata, mis võib viidata väiksemale transiittorustike mahule.

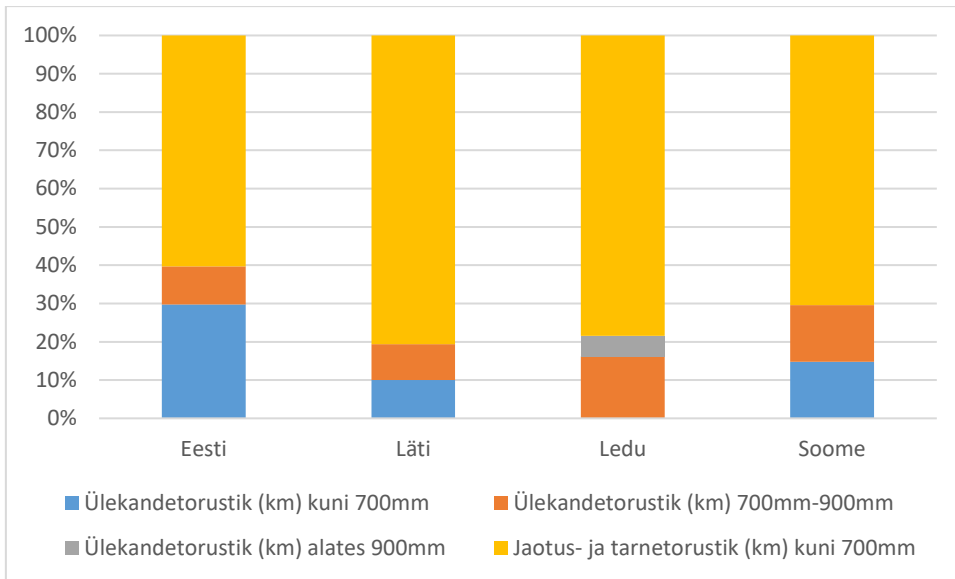
Läti

Läti kasutab torusid laias diameetrivahemikus, peaaegu võrdse jaotusega kuni 700 mm ja 700-900 mm kategooriates. See näitab ulatuslikumat ja multifunktsionaalset taritut, mis hõlmab olulisi mahtusid nii gaasi transportimisel kui ka kohalikel jaotusvõrkudel. Leedu eristub suurte diameetrite (700-900 mm ja suuremad) olulise kasutamisega, mis rõhutab selle olulist rolli piirkondlikes ja rahvusvahelistes transiitgaasimarsruutides. Lisaks on jaotus- ja tarnetorustike pikkus suur, mis peegeldab arenenud sisse gaasivarustuse infrastruktuuri.

Soome

Soome, näitab tasakaalustatud kasutamist torudega kuni 700 mm ja 700-900 mm diameetrites. Selline struktuur võib kajastada keskendumist sisemistele gaasivajadustele väiksema sõltuvusega transiitvarustustest.

Üldiselt näitavad andmed lähenemisviiside erinevusi gaasiinfrastruktuuri arendamisel nendes riikides, mis on määratletud nii geograafilise asukoha kui ka majanduslike ja strateegiliste teguritega. Need erinevused gaasivõrkude struktuuris ja käitamises peegeldavad iga riigi unikaalseid tingimusi ja vajadusi energiajulgeoleku ja jätkusuutlikkuse valdkonnas.



Joonis 4.7 Ülekande- ja jaotustorustike pikkuse jaotus Baltimaades ja Soomes [27]

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli analüüsida maagaasi lekete avastamise erinevaid meetodeid, anda ülevaade Eesti gaasivõrgust ja töötada välja meetodika gaasivõrkude hindamiseks. Töö käigus uuriti füüsikalisi, keemilisi, visuaalseid ja termograafilisi meetodeid, samuti ultraheli- ja raadiolokatsioonitehnoloogiaid, et hinnata nende tõhusust ja sobivust erinevates töötingimustes. Lisaks analüüsiti Eesti gaasivõrgu seisukorda, võttes arvesse kasutatud materjale, torude vanust ja korrosioonikindlust. Töö tulemuste kokkuvõtlik esitus näitab, et gaasilekked kujutavad endast tõsist ohtu nii keskkonnale kui ka inimeste ohutusele. Varajane avastamine ja tõhus tõrje on seetõttu kriitilise tähtsusega. Füüsikalised ja keemilised meetodid osutusid väga tõhusateks, eriti kombineerituna teiste meetoditega, nagu visuaalsed ja termograafilised tehnikad. Ultraheli- ja raadiolokatsioonitehnoloogiad pakkusid täiendavat täpsust ja usaldusväärust, võimaldades lekkeid tuvastada ka raskesti ligipääsetavates kohtades. Eesti gaasivõrgu analüüsist selgus, et suur osa torudest on vanemad kui 30 aastat, mis suurendab korrosiooni ja lekete riski. Hoolimata torude vanusest on gaasikadude tase püsinud stabiilsena, mis viitab varasemate hooldus- ja haldusmeetmete kõrgele efektiivsusele. Uuemad polüetüleenist torud pakuvad suuremat vastupidavust ja usaldusväärust, kuid nende osakaalu tuleb veelgi suurendada. Töö käigus väljatöötatud meetodika võimaldab gaasivõrkude seisukorda hinnata ja aitab planeerida tulevasi moderniseerimis- ja hooldusprogramme.

Gaasivõrkude infrastruktuur on väga oluline, kuna see tagab riigi energiajulgeoleku ja tarnekindluse. Töö tulemused aitavad kaasa gaasivõrkude usaldusvääruse ja ohutuse suurendamisele ning energiajulgeoleku tagamisele.

Lõputöö käigus ilmnesid ka mitmed probleemid, mille lahendamine ei mahtunud töö raamesse ja mis peaksid tulema päevakorda tulevikus. Näiteks oleks vajalik põhjalikum uuring erinevate lekete tuvastamise meetodite integreerimisest ühtsesse süsteemi ning nende efektiivsuse testimine reaalses töötingimustes. Lisaks tuleks kaaluda veelgi laiemat polüetüleenist torude kasutuselevõttu ja selle mõju gaasivõrgu üldisele töökindlusele ja keskkonnasõbralikkusele.

Kokkuvõtteks võib öelda, et käesolev töö annab põhjaliku ülevaate maagaasi lekete avastamise meetoditest ja Eesti gaasivõrgu seisukorrast. Töö tulemused aitavad kaasa gaasivõrkude usaldusvääruse ja ohutuse parandamisele ning pakuvad väärtuslikke teadmisi energiajulgeoleku tagamiseks tulevikus.

SUMMARY

The aim of this master's thesis was to analyze various methods for detecting natural gas leaks, provide an overview of the Estonian gas network, and develop a methodology for assessing gas networks. The study examined physical, chemical, visual, and thermographic methods, as well as ultrasonic and radiolocation technologies, to evaluate their effectiveness and suitability in different operating conditions. Additionally, the condition of the Estonian gas network was analyzed, taking into account the materials used, the age of the pipes, and their corrosion resistance.

A summary of the study results indicates that gas leaks pose a serious threat to both the environment and human safety. Therefore, early detection and effective mitigation are critically important. Physical and chemical methods proved to be highly effective, especially when combined with other methods, such as visual and thermographic techniques. Ultrasonic and radiolocation technologies provided additional accuracy and reliability, enabling leak detection in hard-to-reach areas.

The analysis of the Estonian gas network revealed that a significant portion of the pipes are over 30 years old, which increases the risk of corrosion and leaks. Despite the age of the pipes, the level of gas losses has remained stable, indicating the high effectiveness of previous maintenance and management measures. Newer polyethylene pipes offer greater durability and reliability, but their proportion needs to be further increased. The methodology developed during the study allows for the assessment of the condition of gas networks and helps in planning future modernization and maintenance programs.

The gas network infrastructure is very important as it ensures the country's energy security and supply reliability. The results of this work contribute to improving the reliability and safety of gas networks and ensuring energy security.

During the course of the thesis, several issues emerged that could not be addressed within the scope of this study and should be considered in the future. For example, a more detailed study on the integration of different leak detection methods into a unified system and testing their effectiveness in real operating conditions is necessary. Additionally, the broader adoption of polyethylene pipes and their impact on the overall reliability and environmental safety of the gas network should be considered.

In conclusion, this thesis provides a comprehensive overview of the methods for detecting natural gas leaks and the condition of the Estonian gas network. The results of the study help to enhance the reliability and safety of gas networks and offer valuable insights for ensuring energy security in the future.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Liuhto K. „The Future of Energy Consumption, Security and Natural Gas: LNG in the Baltic Sea region“ (2021) <https://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-80367-4>
- [2] Murvay P., S.Silea I. „A survey on gas leak detection and localization techniques“ <https://dx.doi.org/10.1016/j.jlp.2012.05.010>
- [3] Maagaasi tootekirjeldus. <https://www.gaas.ee/maagaasi-tootekirjeldus/>
- [4] Estonia energy report. <https://www.enerdata.net/estore/country-profiles/estonia.html>
- [5] KE23: VEDELKÜTUSE JA MAAGAASIGA VARUSTATUS https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus_energeetika_energia-tarbimine-ja-tootmine_luhiajastatistika/KE23
- [6] Euroopa gaasihindade TTF futuurid <https://tradingeconomics.com/commodity/eu-natural-gas>
- [7] Eesti Gaasist. <https://www.gaas.ee/ettevottest/ajalugu/>
- [8] Gaasisüsteemi ajalugu. <https://elering.ee/gaasituru-kasiraamat/3-eesti-ja-regionaalne-maagaasisusteem/31-gaasisusteemi-ajalugu>
- [9] Maagaasi import. <https://elering.ee/gaasituru-kasiraamat/3-eesti-ja-regionaalne-maagaasisusteem/36-maagaasi-import>
- [10] Balticconnector. <https://elering.ee/balticconnector>
- [11] Balticconnector. <https://www.gaas.ee/balticconnector/>
- [12] Balticconnector. https://cinea.ec.europa.eu/featured-projects/balticconnector_en
- [13] Akinsete O., Oshingbesan A. „Leak detection in natural gas pipelines using intelligent models“ <https://dx.doi.org/10.2118/198738-MS>
- [14] Kulu, P., Kübarsepp, J., Laansoo, A., Veinthal, R. „Materjalitehnika : õpik kõrgkoolidele.“ https://www.ester.ee/record=b4459279*est
- [15] Zhou J., Lin H., Li S., Jin H., Zhao B., Liu S. „Leakage diagnosis and localization of the gas extraction pipeline based on SA-PSO BP neural network“. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2022.109051>
- [16] Fortini A., Suman A., Zanini N., „An experimental and numerical study of the solid particle erosion damage in an industrial cement large-sized fan“. <https://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107058>
- [17] Zhang Z., Guo L., Cheng Y. F., „Interaction between internal and external defects on pipelines and its effect on failure pressure“. <https://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2020.107230>
- [18] Peralta J., Verde C., „Pressure pattern for fault diagnosis in gas pipelines through graph tools“. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ymsp.2022.109604>

- [19] Bagheri M., Sari A., „Study of natural gas emission from a hole on underground pipelines using optimal design-based CFD simulations: Developing comprehensive soil classified leakage models“. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2022.104583>
- [20] Küttegaasi kasutavale gaasipaigaldisele, selle ehitamisele ja gaasiseadme paigaldamisele ning gaasiballooni ladustamisele ja gaasianuma täitmisele esitatavad nõuded. <https://www.riigiteataja.ee/akt/122122020016?leiaKehtiv>
- [21] Velázquez J., C.González-Arévalo N., E.Díaz-Cruz M., Cervantes-Tobón A., Herrera-Hernández H., Hernández-Sánchez E., „Failure pressure estimation for an aged and corroded oil and gas pipeline: A finite element study“. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2022.104532>
- [22] KVT21: gaasijaotustorustik liigi järgi (2002–2016)
[https://andmed.stat.ee/et/stat/Lepetatud tabelid Majandus.%20Arhiiv Transport.%20Arhiiv/KVT21/table/tableViewLayout2](https://andmed.stat.ee/et/stat/Lepetatud_tabelid_Majandus.%20Arhiiv_Transport.%20Arhiiv/KVT21/table/tableViewLayout2)
- [23] Eesti gaasiülekandevõrgu arengukava 2024-2033.
<https://www.elering.ee/sites/default/files/2024-01/Eesti%20gaasi%C3%BClekandev%C3%B5rgu%20arengukava%202024-2033.pdf>
- [24] Elektri- ja gaasisüsteemi ülevaade. <https://elering.ee/elektri-ja-gaasisusteemi-ulevaade>
- [25] 11th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (period 1970 – 2019). <https://www.egig.eu/reports>
- [26] Regionaalne maagaasi ülekandevõrk. <https://elering.ee/gaasituru-kasiraamat/3-eesi-ja-regionaalne-maagaasisusteem/33-regionaalne-maagaasi-ulekandevork>
- [27] Gas Decarbonisation Pathways for Estonia.
<https://energiatalgud.ee/sites/default/files/2024-02/Gas%20decarbonisation%20pathways%20-%20D8%20final%20report%20-%20kokkuv%C3%B5te.pdf>