

Tuotteet, tuotanto, tuotantokapasiteetti, prosessit, laitteistot, rakenteet



Uudisrakennus – puhtaan energian pilotointialusta

VTT:n Bioruukki -pilotointikeskuksen uudisrakennuksessa kehitetään uusia prosesseja ja tuotteita teollisuuden energia- ja liikennesegmentteihin sekä tutkitaan asiakkaiden tuotteiden ominaisuuksia ja soveltuvuutta kyseisiin tarpeisiin. Tutkimuksen koelaitteet ovat laboratorio- tai pilot- mittakaavan kokoluokkaa. Uudisrakennukseen vuoden 2026 keväällä muuttaa Espoon Otaniemestä toiminnot:

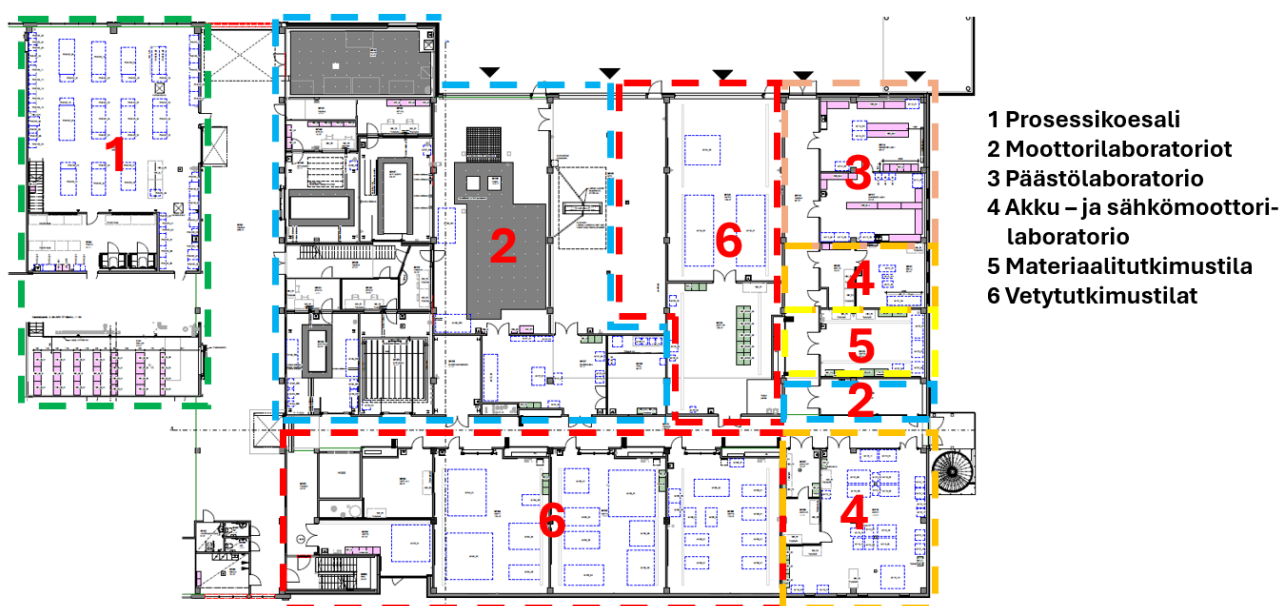
- vety- ja polttokennotutkimus
- akkututkimus ja energiavarastotutkimus
- moottori- ja voimalinjatutkimus
- päästötutkimus

Moottorikoetilat mahdollistavat polttomoottoreiden, sähkömoottoreiden ja hybridijärjestelmien testauksen monipuolisilla mittalaitteilla ja erilaisilla polttoaineilla, ja niissä mitataan päästöjä sekä suorituskykyä. Akku- ja sähkömoottorilaboratoriossa testataan erityisesti sähköajoneuvojen ja raskaan kaluston akkuja sekä pieniä sähkömoottoreita. Materiaalitutkimuksen laboratoriossa keskitytään vetyyn tai vedynkantajien kuljetukseen, varastointiin ja käyttöön uusissa sovelluksissa. Tähän liittyvissä materiaalikokeissa tutkitaan vetyhaurautta, kitkaa, läpäisevyyttä ja korroosiota korkeissa paineissa ja lämpötiloissa. Vetytutkimuksen tiloissa testataan erilaisia elektrolyysereitä ja polttokennoja sekä niihin liittyvien materiaalien ja komponenttien toimintaa yksikkökenno-, kennosto- ja systeemitasolla pitkäaikaisissa olosuhdekokeissa. Päästömittauslaboratorion toimintoihin kuuluvat vaativat mittaukset sekä kentällä että laboratoriossa, toimintaan kuuluu myös uusien mittausmenetelmien kehittäminen yhteistyössä yritys- ja tutkimuskumppanien kanssa. Kaikissa tiloissa painottuvat turvallisuusratkaisut, automaattiset valvontajärjestelmät sekä ympäristön ja käyttäjien suojaaminen. Uudisrakennuksen toimintojen sijainnit on esitetty *kuvassa 10.1*.

VTT:n Bioruukki -pilotointikeskuksella on voimassa oleva ympäristölupa, johon nyt haetaan muutosta uudisrakennukseen muuttavien toimintojen osalta. VTT:n Bioruukki -pilotointikeskuksella on myös voimassa oleva Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (Tukes) lupa vaarallisten kemikaalien laajamittaiselle varastoinnille ja käytölle. Myös tähän lupaan liittyen tullaan tekemään muutosilmoitus Tukesille marraskuussa 2025 lisääntyvän polttoainemäärän vuoksi.

Toiminnan luonne sekä kuvaus raaka-aineista ja tuotteista

Bioruukin uudisrakennuksen toiminta liittyy siis teollisuuden energia- ja liikenne-segmenttien tuotteiden tutkimukseen. Tutkimuksen tarvitsemat polttoaineet ja jätteet voivat sisältää myös vaaralliseksi luokiteltuja aineita. Toiminta on projektiluonteista, jolle tyypillisiä ovat usein tapahtuvat muutokset sekä koeajoissa että koelaitteistoissa. Toiminta on pääasiassa normaalia arkipäivisin tehtävää päivätyötä. Monet koeajot edellyttävät kuitenkin myös laitteistojen jatkuvampaa käyttöä, jolloin ilta- ja yötyö ovat melko tavallisia. Jatkovaa keskeytymätöntä vuorotyötä ei kuitenkaan tehdä. Tutkimuksessa käytetään polttoaineita (nestemäiset polttoaineet ja kaasut yhteensä) vuositasolla max. 33 tonnia.



Kuva 10.1. Uudisrakennuksen pilotointialustojen sijainnit.

Pilotointialusta Prosessikoesali (1)

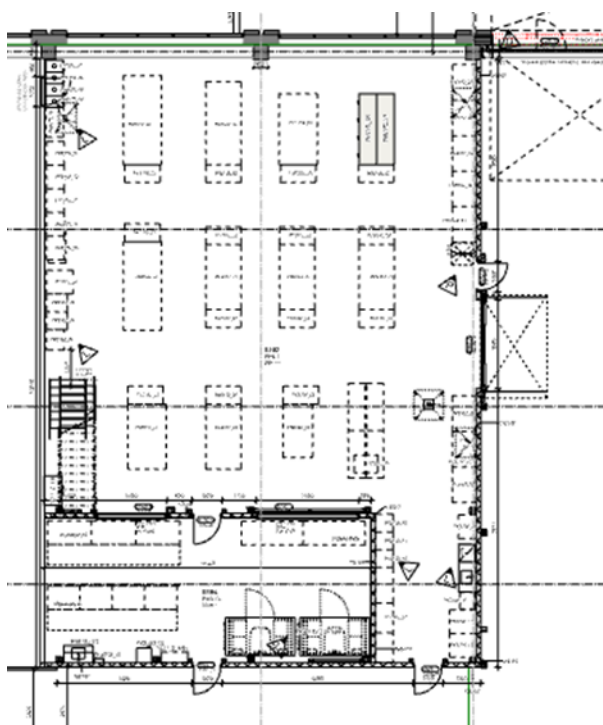
Prosessikoesali on teollisen kemian tutkimusalueen laboratorio, jonka tutkimus painottuu kaasufaasissa tapahtuviin katalyyttisiin reaktioihin. Prosessikoesalissa on kymmenen reaktorilaitteistoa, joiden tyypillinen operointipaine on alueella 1 – 50 bar ja katalyyttilavuus 5 – 50 mL. Yksi laitteista saavuttaa tarvittaessa 100 bar paineen, mutta normaalikäytössä operoidaan matalammissa paineissa. Tutkimukseen käytettävät laitteet ovat laboratoriomittakaavan reaktoreita. Osa laitteista on kiinteästi sijoitettuina, osa voidaan vaihtaa tarpeen mukaan. Laitteistot on rakennettu itsestään seisoviksi. Niissä on pyörät kuljetusta varten ja ympärillä alumiinirunkoinen ja pleksiseinäinen kotelointi. Useimmilla laitteilla voidaan ajaa 24/7. Laitteilla ei ole ympärivuorokautista miehitystä, mutta automatiikka valvoo ja tarpeen tullen sammuttaa laitteen automaattisesti. Pisimmät yhtäjaksoiset koeajot ovat olleet kestoaltaan noin 1000 tuntia.

Reaktioissa käytetyt katalyytit ovat pääsääntöisesti kiinteitä metallipartikkeleita, jotka on immobilisoitu kantajamateriaalille. Katalyyttien partikkelikoko vaihtelee nanometreistä senttimetreihin, joten tilassa on varauduttu pölyvien kemikaalien käsittelyyn. Määrät ovat kuitenkin niin pieniä, että pölyräjähdysriskiä ei ole. Katalyytit pakataan hyvin ilmastoidussa paikassa reaktoriputkeen, minkä jälkeen reaktori asennetaan laitteistoon koeajoa varten. Koeajon aikana kaikki laitteistosta ulostulevat virrat käsitellään asianmukaisesti riskiarvion perusteella.

Prosessikoesalin turvallisuus perustuu kaasuvälvontajärjestelmään, laitteistojen automaattisiin hätäalasajoihin sekä koulutettuun henkilökuntaan. Koelaitteistoja ohjataan erillisestä

valvomotilasta. Kemikaalien säilytystä ja käsittelyä varten tilassa on useita kemikaali- ja vetokaappeja.

Tutkimuslaitteisiin johdetaan pohjoispihan kaasupulloverastosta seuraavat kaasulinjat, joiden käyttöpainne on max. 50 bar: H_2 , CO_2 , CO , O_2 , CH_4 , C_2H_4 , He , 0,5% H_2S tyypessä, 5% NH_3 tyypessä ja kaksi varalinjaa, joihin voidaan kytkeä muita kaasupulloja koeajoista riippuen (esim. NO , NO_2 , N_2O , SO_2 , C_2H_6 , C_3H_6 , C_3H_8). Lisäksi tilaan tulee hätähuuhteluun tyypilinja nestetyypivarastosta. Tilassa on kaasupullokaappeja, joissa säilytetään koeajoihin tarvittavia korkeapainekaasuja (linjapaine max. 110 bar), erikoiskaasuseoksia ja kalibrintikaasuja, esim. NO , NO_2 , N_2O , SO_2 ja hiilivetyseoksia. Lisäksi tutkimuslaitteilla on nestemäisten syöttöjen mahdollisuus. Nesteet syötetään yleensä höyrytettyinä. Yleisimmät nesteet: H_2O , bentseeni, tolueeni, naftaleeni, metanoli, propanoli, heksanoli. Lisäksi pesuliuoksina käytetään isopropanolia ja asetonia. Nestemäiset syötteen ja näytteet valmistellaan ja käsitellään asianmukaisesti vetokaapeissa.



Kuva 10.2. Prosessikoesalin lay out.

Moottoritutkimuksen pilotointialusta (2)

Moottorikoetiloja käytetään pääosin polttomoottorikäyttöisten järjestelmien päästö ja suorituskyky-mittaukseen. Muita mahdollisia tutkimuskohteita ovat sähkömoottorit ja hybridijärjestelmät.

Moottoritutkimuksen pilotointialusta koostuu neljästä samankaltaista moottorikoetilasta, joissa kussakin on moottorien tutkimuksen mahdollistava dynamometri (moottorijarru). MT1, MT2 ja MT4 tilojen dynamometri sekä moottori on asennettu jousitetun asennuslaatan (moottoripeti) päälle. Asennuslaatat on upotettu, jotta asennuksessa voidaan käyttää pumppukärryä. Asennuslaatan kuoppaan voidaan johtaa mittauskaapeleita ja putkistoja lattiakanavien kautta. Asennuslaatan kuopasta on putkitus kellaritilan öljynerotuskaivoon, josta mahdollinen jäteneste voidaan ottaa kierrätykseen. Kussakin moottoritilassa on siltanosturi (3,5 t) asennusta varten. Moottorit kuljetetaan moottoritiloihin trukilla ja pumppukärryllä.

Moottoritestien etenemistä seurataan valvomosta. Valvomossa on räjähdyssuojattu ikkuna moottorikoetilaan. Moottorikoetilassa ei kuljeta testin aikana, poikkeuksena asennusvaiheessa ja moottori käytönoton yhteydessä (moottorin käydessä tyhjäkäyntiä). Moottorikoetilan ovet on varustettu valvontajärjestelmällä.

Pääpolttoaineet (diesel/metanoli/etanoli) tuodaan putkistoa pitkin polttoainevarastosta koetilassa oleviin päiväsailiöihin. Kaasunpoisto, huuhtelu ja linjojen tyhjennyssysteemit on huomioitu polttoaineen syöttölinjastossa. Pienehköt nestemäisen polttoaineiden erikoiserät pidetään ja käytetään tiloissa olevista polttoainekaapeista. Polttoainekaapit on kytketty talojärjestelmän kohdepoistoon. Polttoaineiden lisäksi moottorikoetiloissa käytetään glykolia jäähdytysnesteinä ja erilaisia öljytuotteita voiteluaineena.

Moottorien pakokaasut johdetaan joko laimennustunnelin (CVS -laitteisto, constant volume system) kautta tai suoraan ulos pakokaasuputkistoon ja piippuihin. Tyypillisesti jatkuvatoimisesti mitattavat päästökomponentit ovat CO, CO₂, NO, NO₂, (NO_x), N₂O, NH₃ ja O₂. Hiukkaspitoisuudet määritetään tarvittaessa kertaluontoisesti gravimetrisesti. Hiukkaskokojakauomia voidaan tarvittaessa seurata jatkuvatoimisesti. Muita päästökomponentteja määritetään projektista riippuen sekä jatkuvatoimisesti että kertaluontoisesti. Moottorikoetilojen lämpötilaa voidaan vaihdella välillä 20 - 30 °C. Lämpötila kussakin tilassa hallitaan talotekniikan tehokkaan jäähdytysjärjestelmän avulla.

MT1 ja MT2 -transienttimoottorijarrut (AG400 ja AC570)

Tutkittava moottorijärjestelmä kytketään dynamometriin, jossa ennalta määrätyn syklin ajonaikaiset päästöt mitataan päästömittalaitteiston (ja CVS-järjestelmän) avulla.

Käytettävät syklit riippuvat mm. hankkeen tyypistä, kohteesta ja tutkimuksen luonteesta, mutta tyypillisesti ajosyklit ovat standardoituja testejä. Tyypillisesti yksi testi kestää n. 20 - 120 min. Tyypillisesti yhden projektin mittaamisessa kuluu useita viikkoja, josta puolet liittyy asennuksiin. Vähintään viikko ennen mittauksia ja viikko mittausten jälkeen on varattu valmisteluille ja jälkitöille.

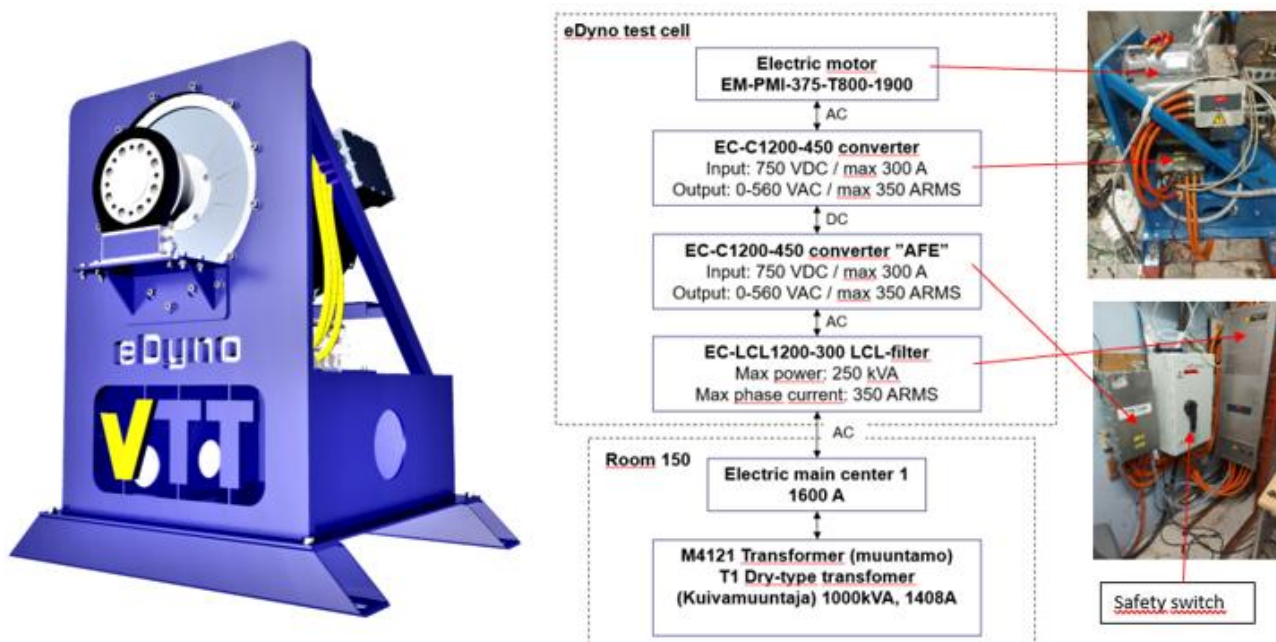
Molemmissa transienttimoottoritilassa on valmius käyttää kaasumaisia polttoaineita moottorissa. Kaasumaiset polttoaineet tuodaan putkistoa pitkin ulkona konttikentällä varastoitavista kaasusäiliöistä moottoritiloihin (vety, metaani, propaani). Kaasujen syöttölinjastot on varustettu varoventtiilien lisäksi purkujärjestelmällä, joka mahdollistaa tehokkaan tyhjennyksen, huuhtelun sekä typetyksen.



Kuva 10.3. Transienttimoottoritilat.

MT3 - sähköinen moottorijarrupenkki eDyno

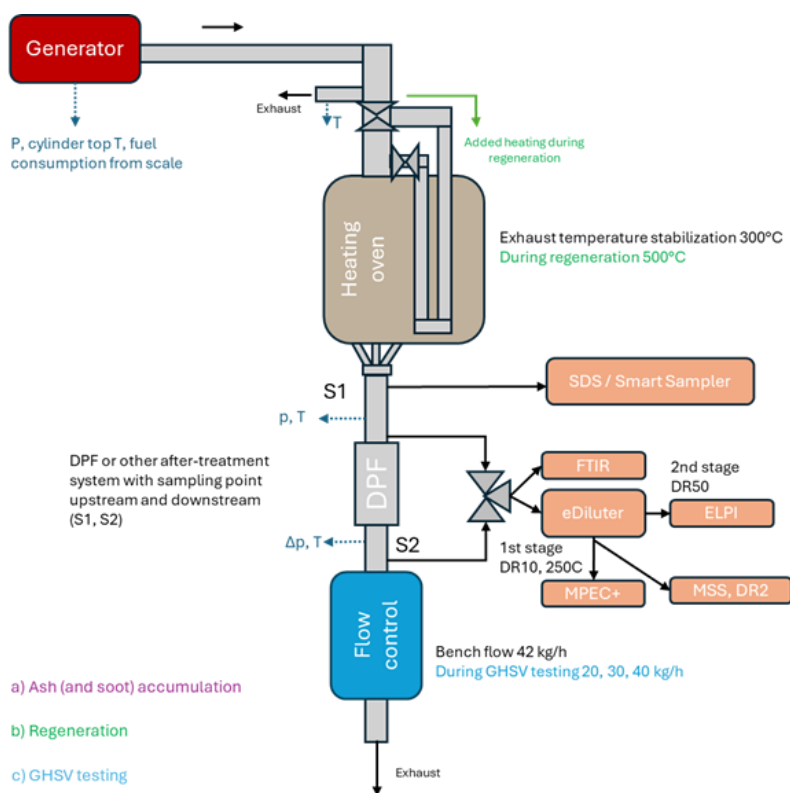
Moottoritala eDyno on tarkoitettu polttomoottoreiden, sähkökäyttöjen ja jarrukomponenttien testaamiseen. Järjestelmä on suunniteltu ja rakennettu VTT:n toimesta. eDyno -kokonaisuus sisältää sähkömoottorin, kaksi inverteriä, LCL-suodattimen ja testausautomaatiolaitteiston.



Kuva 10.4. eDyno.

MT4 -esi- ja jälkikäsittelytutkimus (PUMA)

Tutkimustilaa käytetään pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmien tutkimukseen. Tarvittavien pakokaasujen tuottamiseen voidaan käyttää pieniä generaattoreita tai polttimia, tilaan on myös mahdollista asentaa moottoridynamometri ja käyttää sitä moottorikoetilana. Erilaisten jälkikäsittelyjärjestelmien tutkimuksessa käytetään lyhytaikaisesti kaasupulloja erilaisten pitoisuuksien tuottamiseen, sekä mittalaitteita varten. Jälkikäsittelyjärjestelmiin lukeutuvat esimerkiksi pakokaasusuodattimet, erilaiset katalyyttiratkaisut ja hiilidioksidin talteenottolaitteistot. Tilassa on valmistauduttu erilaisiin kaasumaisiin ja nestemäisiin polttoaineisiin, vastaavasti kuten transienttimoottorijarrutiloissa. Tila soveltuu myös erilaisten pienimuotoisten testilaitteiden, kuten uusien jälkikäsittelyratkaisujen testaamiseen.



Kuva 10.5. Esimerkki PUMA -tilan jälkikäsittelylaitteistosta.

Päästötutkimuksen pilotointialusta (3)

Mittaamme teollisuuden päästöjä haastavista prosesseista sekä liikkuvien koneiden ja laivojen päästöjä kentällä ja laboratoriossa. Tätä varten meillä on päästömittauslaboratoriossamme huippuluokan mittalaitteet. Päästölaboratoriossa teemme valmisteluja (kalibroinnit, linearisoinnit, mittalaitesuoritus) kentällä ja laboratoriossa tehtävien tutkimusprojektien mittauksia varten. Valmistamme mittalaitteillemme referenssispektrejä ja kaasuseoksia kaupallisten kaasukalibraattoreiden avulla. Kaasuseokset ovat tyypillisesti pitoisuustasoltaan alle 500 ppm.

Moottorimittauksissa käytämme spektroskooppisia (FTIR, NDIR) ja kromatografisia (HPLC, GC) mittausten menetelmiä kaasumaisille päästökomponenteille. Hiukkasten määrittämiseen käytämme jatkuvatoimisia Elpi- ja CPC -mittalaitteita sekä keräysmenetelmiä (SmartSampler, SDS, eFilter). Lisäksi käytämme erilaisia hiilen määrittämenetelmiä (MSS, OCEC, FID). Teollisuuspäästöjen mittaamiseen käytämme FTIR-monikomponenttianalysaattoreita ja kaasukromatografteja sekä markkemmiallisia ja keräviä mittausten menetelmiä.

Laivoihin ja liikkuviin koneisiin liittyvät päästömittauksemme tukevat uusien polttoaineiden, palamiskonseptien ja jälkikäsittelyjärjestelmien kehitystä ja pilotointia todellisissa käyttöolosuhteissa. Yritys- ja tutkimuskumppanien kanssa tehtävä yhteistyö parantaa päästömittausosaamista ja tukee uusien mittausten menetelmien sekä päästölainsäädännön kehitystä EU-tasolla ja kansainvälisesti.

Teollisuuspäästömittauksissa roolinamme on tukea suomalaisten päästömittausten laadunvarmistustoimia, ja tätä varten järjestämme muun muassa päästöjen vertailumittauksia, laadimme aiheeseen liittyviä ohjeistuksia sekä osallistumme eurooppalaiseen standardisointiin. Tutkimuksemme kuuluu myös hiilidioksidin talteenottoon (Carbon capture and utilisation/storage, CCUS) liittyvät mittaukset.



Kuva 10.6. Mittauksia kenttäolosuhteissa.

Akku- ja sähkömoottoritutkimuksen pilotointialusta (4)

Akkutestauslaboratoriossa tehdään kokeellista akkujen testaamista kenno-, moduuli-, ja pakettitasolla. Laboratoriossa on akkutestereitä kaupallisten kennojen, moduulien ja pakettien testaamiseen. Testaaminen on käynnissä 24/7 useiden viikkojen ajan. Testattavat kennot, moduulit ja paketit voivat olla suuriakin, painopiste on sähköajoneuvojen ja raskaan kaluston akkujen testaamisessa, jolloin yksittäisten kennojen kapasiteetti voi olla jopa yli 100 Ah ja pakettien useita satoja kilowattitunteja. Akut ovat pääosin kaupallisia litiumioniakkuja, mutta laboratoriossa voidaan testata myös muita energiavarastoteknologioita kuten natriumioniakkuja tai superkondensaattoreita.

Akkukennot, moduulit ja alle 100 V akkupaketit on testauksen ajaksi yleensä sijoitettu laboratorihuoneen olosuhdetestaускаappeihin tai vetokaappeihin. Akkumoduuleja voi olla sijoitettu myös pöydille tai lattialle niille tarkoitettuihin paikkoihin. Laboratorion tiloissa myös säilytetään pieniä määriä testeihin tulossa olevia tai hiljattain testattuja akkuja. Ne sijaitsevat yleensä kaapeissa tai pöydällä niiden kuljetukseen käytetyissä pakkauksissa. Yli 100 V ja isokokoisten akkupakettien testaus tapahtuu pihalla olevaan konttikatokseen sijoitetuissa akkutestauskonteissa.

Akkujen testauksen aikana noudatetaan valmistajan / toimittajan antamia jännite- virta ja lämpötilarajoja, ja niitä myös valvotaan automaattisesti jatkuvasti. Jonkin turvarajan ylittyessä testi keskeytyy automaattisesti. Toisin sanoen akkuja testataan vain turvallisesti määritetyissä olosuhteissa.

Akkukalorimetrin avulla voidaan turvallisesti tutkia alle 400 Wh akkujen käyttäytymistä korkeissa lämpötiloissa ja väärinkäyttötilanteissa. Se on nimenomaisesti suunniteltu ja valmistettu tällaista käyttöä varten. Akkukalorimetri itsessään on palonkestävä, ja se on sijoitettu vankan teräslaatikon sisään ja sen ympärille on rakennettu erillinen alipaineistettu tila, josta sinne päässeet kaasut johdetaan pois niin, että ne eivät päädy huoneilmaan, vaan ohjautuvat poistokanavaan jäähtyneinä ja laimentuneina.

Laboratoriossa ei käsitellä tai säilytetä muita kemikaaleja kuin tavallisia kuluttajille tarkoitettuja puhdistus- ja voiteluaineita.



Kuva 10.7. Akkulaboratorio ja kalorimetri.

Sähkömoottorilaboratorio on tarkoitettu pienten sähkömoottorien, sähkökäyttöjen sekä sähkömagneettisten toimilaitteiden tutkimukseen, prototypointiin ja testaamiseen. Pyörivien sähkökoneiden koestamiseen tarkoitettu Light eDyno -kokonaisuus sisältää sähkömoottorin, taajuusmuuttajan, vääntömomenttilaipan ja testausautomaatiolaitteiston. Testattavien sähkömoottorien ohjausta varten laboratoriosta löytyy lisäksi pienille kolmivaiheisille moottoreille sopiva taajuusmuuttaja sekä 4-vaiheinen SR-moottorin ohjain. Tyypillisesti yhden moottorin mittaukset kestävät 1 - 3 tuntia, ja mittausta valvotaan laboratorion yhteydessä olevasta valvomosta. Testilaitteistossa on myös lämpötila-anturit, jolla testattavan moottorin lämpenemistä voidaan seurata. Lineaaritoimilaitteiden testaamista varten laboratoriossa on DC-moottorikäyttö, DC-teholähde sekä LabVIEW cRIO testausautomaatioympäristö. Tyypilliset mittaukset kestävät 1 - 3 tuntia ja mittausta ohjataan laboratorion valvomotilasta.



Kuva 10.8. Sähkömoottori testattavana Light eDynolla.

Materiaalitutkimuksen pilotointialusta (5)

Tila on vaativan materiaalitutkimuksen laboratorio, jossa tutkimukset liittyvät suoraan vetyyn tai vedynkantajien kuljetukseen, varastointiin ja käyttöön uusissa sovelluksissa. Fokus on ääriolosuhteiden ja kuormitusten kokeellisissa tutkimusvalmiuksissa, ja kokeissa käytetään kaasumaista vetyä ja ammoniakkia.

Tutkimuksissa käytettävät laitteet ovat laboratoriomittakaavan laitteita, joiden kaasutilavuus on pieni, ja ne on sijoitettu omiin walk-in tyyppisiin vetokaappeihin. Osa koelaitteista on kiinteästi sijoitettuina, ja osa voidaan vaihtaa tai räätälöidä tarpeen mukaan. Kokeiden kesto vaihtelee koetyypistä ja tutkimuksen luonteesta riippuen. Lyhimmillään yksi koe voi kestää 6...12 tuntia ja pisimmillään jopa 1000...2000 tuntia. Laitteilla ei ole ympärivuorokautista miehitystä, mutta kokeita valvotaan laitekohtaisilla logiikoilla ja automatiikalla, jotka tarpeen tullen ajavat kokeet hallitusti. Tilassa on neljän pullon kaasukaappi, kokeissa tarvittavien korkeapaine kaasujen (esim. H_2 , 14% NH_3 - 86% Ar/N_2) säilytystä varten, josta kaasut johdetaan tutkimuslaitteille kaasulinjoilla (linjapaine vedyllä max. 200 bar). Lisäksi tilaan tulee typpi- ja argonlinjat talolinjastosta.

Tila varustetaan automaattisella kaasuvälvonnalla, joka vuodon havaitessaan sulkee kaasunsyötöt, katkaisee tilasta sähköt ja kytkee hätätuuletuksen päälle. Kukin koelaitte on myös sijoitettu omiin vetokaappeihin, jotka on kytketty talokohtaiseen poistokaasujen laimennuslinjaan. Lisäksi koelaitteissa itsessään on omat turvajärjestelynsä ja niitä käyttävät koulutetut henkilöt.

Tilassa on viisi kiinteästi asennettua walk-in tyyppistä vetokaappia, joihin on suunniteltu sijoitettavan seuraavat koelaitteet:

Hybello-testauslaitteet materiaalien vetyhaurausta, murtumismekaniikka ja väsymistutkimuksiin vedyssä korkeissa paineissa (100...200 bar H_2 , $T = -50...50\text{ °C}$, paineastian vetytilavuus n. 200 ml) Laitteet ovat pneumaattisia paljekuormitteisia laitteita, joita voidaan käyttää servo-ohjatun painepiirin avulla. Laitteet koostuvat koe- sekä sauvatyyppin mukaan määräytyvästä kuormituskehästä, kuormituslaitteesta eli palkeesta sekä servo-ohjatusta paineensäätöpiiristä. Paineensäätöpiiri käyttää toimiakseen 200 bar paineilmaa, joka tuotetaan erillisellä viereiseen huoneeseen sijoitetulla kompressorilla, josta paineilma johdetaan koetilaan seinän läpi paineputkella. Paineensäätöpiirin paineputki on kytketty palkeeseen, jolloin se voidaan paineistaa ja se tuottaa aksiaalisuuntaista voimaa koesauvalle. Paineapiirin ohjaus tapahtuu MOOG-servosaattajien avulla, jolloin palkeen painetta voidaan ohjata erilaisten takaisinkytkentä signaalien avulla. Tyypillisimmät takaisin- kytkennät tulevat voima-, LVDT siirtymä sekä paineantureilta, joiden avulla palkeen tuottamaa voimaa/siirtymää voidaan ohjata.

Vetytestauksessa kuormituskehä testisauvoineen asennetaan erilliseen paineastiaan, jolloin materiaaleja voidaan testata korkeassa paineessa. Koe toimii panosperiaatteella eli jatkuvaa vedyn virtausta ei tarvita. Kokeen kulku on seuraava: Ensin paineastiaan, tilavuus noin 200 ml, tehdään alipaine vakuumpumpulla, jonka jälkeen sitä paineistetaan typpikaasulla 2-3 bar ja tämä toistetaan 2-3 kertaa, jolla varmistetaan hapen poistuminen paineastiasta. Tämän jälkeen paineastia paineistetaan tyypillisesti 100 bar vedynpaineeseen ja kaasupullojen linjat suljetaan. Testin aikana kammiossa säilyy vakio paine. Kokeen jälkeen vety-ylipaine puretaan johtamalla vety laimennuskaasulinjaan ja huuhtelemalla paineastia ja kaasulinjat tyypellä ennen paineastian avaamista.

Vetytribometri materiaalien kitka ja kulumistutkimuksiin vedyssä (max. 100 bar H_2 , $T_{\max} 150\text{ °C}$, paineastian vetytilavuus max. 70 ml). Laite on Phoenix Tribology Ltd:n valmistama kaupallinen laite, joilla on painelaite- ja ATEX- hyväksyntä. Tribometrit toimivat panosperiaatteella eli jatkuvaa vedyn syöttöä ei tarvita. Kokeiden kulku on samanlainen kuin Hybello-laitteilla. Ensimmäisessä vaiheessa laite alipaineistetaan, jonka jälkeen se paineistetaan typpikaasulla 2-3 bar ja tämä toistetaan 2-3 kertaa, jolla varmistetaan hapen poistuminen laitteesta. Tämän jälkeen laite paineistetaan haluttuun vetypaineeseen ja kaasupullojen linjat suljetaan. Testin aikana laitteessa säilyy vakio paine. Kokeen jälkeen vety-ylipaine puretaan johtamalla vety laimennuskaasulinjaan ja huuhtelemalla paineastia ja kaasulinjat tyypellä ennen avaamista.

Vetypermeaatiolaitte materiaalien ja pinnoitteiden vedyn läpäisy tutkimuksiin (max. 300 bar H_2 , $T_{\max} 600\text{ °C}$, paineastian vetytilavuus 500 ml). Laite on Top Industrien valmistama kaupallinen laite, jolla on painelaite- ja ATEX- hyväksynnät, ja joka on varustettu vetykompressorilla 300 bar **beyond the obvious**

kokeita varten. Myös tämä laite toimii panosperiaatteella eli jatkuvaa vedyn syöttöä ei tarvita. Kokeen kulku on samanlainen kuin muillakin panosperiaatteella toimivilla laitteilla: Ensimmäisessä vaiheessa laite alipaineistetaan, jonka jälkeen se paineistetaan typpikaasulla 2-3 bar ja tämä toistetaan 2-3 kertaa, jolla varmistetaan hapen poistuminen laitteesta. Tämän jälkeen laite paineistetaan haluttuun vetypaineseen ja kaasupullojen linjat suljetaan. Testin aikana laitteessa säilyy vakioaine. Kokeen jälkeen vety-ylipaine puretaan johtamalla vety laimennuskaasulinjaan ja huuhtelemalla paineastia ja kaasulinjat tyypellä ennen avaamista.

Vetyuuni materiaalin korroosiotutkimuksiin vedyssä ja ammoniakissa korkeissa lämpötiloissa ($T_{\max}$ 800 °C, vetytilavuus n. 1500 ml, ympäristön paine (ei ylipainetta), kaasuvirtaus max. 20 l/h). Kokeissa käytetään putkiuunia, johon on hankittu erikoisputki ja erikoistiivisteet, jotka kestävät vetyä ja NH_3 -pitoisia kaasuja korkeissa lämpötiloissa. Kokeissa käytetään pieniä kaasuvirtauksia, kokonaisvirtaus tyypillisesti 5...10 l/h, ja kokeiden kulku on seuraava: Ensimmäisessä vaiheessa järjestelmä tyetetään hapen poistamiseksi. Typetyksen jälkeen voidaan aloittaa vedyn tai ammoniakkin syöttö ja kaasuvirtausten tasaannuttua uuniin voidaan kytkeä lämmöt. Kokeen aikana vetykokeessa uunin poistokaasut johdetaan ilmalukon kautta jäähtyneenä laimennuskaasulinjaan. Ammoniakkikokeessa uunin poistokaasut johdetaan ilmalukon kautta kaasunpesupulloihin, joissa kaasuista poistetaan haitalliset osat kemiallisesti sitomalla (esim. $2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), jonka jälkeen jäännöskaasut johdetaan jäähtyneenä laimennuskaasulinjaan. Kokeen lopussa kytketään ensiksi pois uunin lämmitys ja uunin jäähtyttyä vety-/ammoniakki syöttö, jonka jälkeen järjestelmä tyetetään ennen uunin avaamista.

Uunin toimintaa ohjataan ja seurataan logiikalla. Uunin syöttökaasulinjassa on magneettiventtiilit, jotka sulkeutuvat automaattisesti häiriötilanteessa.



Kuva 10.9. Materiaalitutkimustilojen reaktoreita.

Vetytutkimuksen pilotointialusta (6)

Vetytutkimuksen tiloissa testataan elektrolyysereitä ja polttokennoja (SOC, PEM, AEM, ALKALI) yksikkökenno-, kennosto- ja systeemitasolla (teho wateista kymmeneen kW). Tyypillisin testaus on pitkäaikaisajo, jossa yhtäjaksoinen testaus kestää kuukausia, pisimmillään jopa vuosia. Kaikkein eniten testattu teknologia on SOC kennostotasolla (kennoston teho ~ 10 kW, jännite ~ 100 V, koko testiaseman sähköteho ~ 20 kW).



Kuva 10.10. SOC (vasen) ja PEM (oikea) elektrolyysikennostotestiasemat.

Testien olosuhteet riippuvat suuresti testattavasta teknologiasta, PEM- ja ALKALI -tapauksessa lämpötilojen ollessa yleensä < 100 °C ja SOC tapauksessa yleensä 600 °C – 850 °C.

Testin aikana elektrolyyserille/polttokennolle syötetään jatkuvasti sen tarvitsemat kaasut, sähkövirta sekä testiaseman (PLC, operatiiviset laitteet; massavirtasäätimet, höyrystimet, uunit) tarvitsema teho. Kaasujen virtausmäärä riippuu testattavan laitteen koosta, mutta on yleensä suuruusluokkaa 10 – 1000 l/min testiasemaa/kennostoa kohti.

Tyypillisesti käytettäviä kaasuja/nesteitä on:

- Vety
- Ilma
- Typpi
- Vesi (höyry, puhdasvedestä)
- Maakaasu/Metaani

Muita käytettäviä polttoaineita ja kaasuja on esimerkiksi

- Metanoli
- Ammoniakki
- Häkä
- Hiilidioksidi

Elektrolyyseri/polttokenno -testauksen lisäksi usein tehdään materiaali/BOP -komponenttitestausta suunnilleen vastaavissa olosuhteissa. Vetytutkimuksessa käytetään myös kontteihin kasattuja testilaitteistoja, jotka ovat toimintaperiaatteeltaan samankaltaisia kuin edellä mainitut testilaitteet, mutta teholtaan jopa satoja kW. Konttitestilaitteiden käyttö sisätiloissa painottuu laitteistojen muokkaamiseen ja käyttöönottoon, sekä testaamiseen, jonka jälkeen laitteistot pyritään siirtämään muualle varsinaista testiajoa varten.



Kuva 10.11. Konttiin rakennettu PEM elektrolyysi testilaitteisto.

Testilaitteiden käyttö on usein pitkäaikaista, tyypillisten koeajojen kestäen usein kuukausia (24/7). Vetytilat varustetaan automaattisella kaasuvalvonnalla, joka vuodon havaitessaan sulkee kaikkien palavien ja myrkyllisten kaasujen sekä nesteiden syöttölinjojen venttiilit ko. laboratoriotilaan. Lisäksi koelaitteissa/testiasemissa itsessään on omat turvajärjestelynsä.