निदेशक की रिपोर्ट

वर्ष 2024-25 सीएसआईआर-राष्ट्रीय वांतरिक्ष प्रयोगशालाएँ (सीएसआईआर-एनएएल) की यात्रा में एक और महत्वपूर्ण कदम है जो वांतरिक्ष अनुसंधान एवं विकास (अ-वि) की दिशा को नए सिरे से परिभाषित करने की ओर अग्रसर रहा। यह वर्ष उन्नत अनुसंधान, सामरिक साझेदारियों और उत्कृष्टता के प्रति हमारी अटूट प्रतिबद्धता से प्रेरित रहा। साथ ही, यह अवधि विशेष रूप से उत्साहवर्धक रही, क्योंकि सीएसआईआर-एनएएल को माननीय उपराष्ट्रपति श्री जगदीप धनखड़ तथा माननीय केंद्रीय नागर विमानन मंत्री श्री के. राम मोहन नायडू जैसे प्रतिष्ठित गणमान्य व्यक्तियों की गौरवमयी उपस्थिति का सौभाग्य प्राप्त हुआ। इनके आगमन से भारतीय नागर विमानन क्षेत्र को सक्षम बनाने की दिशा में सीएसआईआर-एनएएल की संस्थागत प्रौद्योगिकियों एवं उत्पादों को नई गति और प्रोत्साहन मिला। सीएसआईआर-एनएएल ने नागर विमानन अनुसंधान एवं विकास के क्षेत्र में कई महत्वपूर्ण उपलब्धियाँ प्राप्त करने के साथ ही रक्षा अनुसंधान एवं विकास संगठन (डीआरडीओ) तथा भारतीय अंतरिक्ष अनुसंधान संगठन (इसरो) के भारत-केंद्रित कार्यक्रमों में भी सक्रिय रूप से सहयोग प्रदान किया है।

वर्ष 2024-25 के लिए सीएसआईआर-एनएएल की वार्षिक रिपोर्ट प्रस्तुत करते हुए मुझे अत्यंत हर्ष हो रहा है। यह रिपोर्ट हमारी समर्पित टीम के कठिन परिश्रम, संस्थान के प्रति अटूट प्रतिबद्धता का प्रमाण है। वर्ष 2024-25 की सीएसआईआर-एनएएल की प्रमुख उपलब्धियों का संकलन यहाँ प्रस्तुत है और मैं सीएसआईआर-एनएएल की पूरी टीम को पिछले वर्ष के दौरान सीएसआईआर-एनएएल द्वारा की गई शानदार उपलब्धियों में अमूल्य योगदान देने के लिए हार्दिक धन्यवाद देता हूँ।

मुख्य विशेषताएँ

वर्ष 2024-25 के दौरान, वांतरिक्ष कार्यक्रमों में कई महत्वपूर्ण उपलब्धियाँ हासिल की गईं। सिस्टम इंजीनियरिंग, विश्वसनीयता इंजीनियरिंग और गुणवत्ता आश्वासन प्रथाओं को सारस एमके II, हंसा-3 (एनजी), और हाई-एल्टीट्यूड स्यूडो सैटेलाइट (HAPS) जैसे प्रमुख कार्यक्रमों में मज़बूती से समाकलित किया गया। वांतरिक्ष क्षेत्र में भारत की आत्मनिर्भरता को बढाने के लिए सीएसआईआर-एनएएल ने स्वदेशीकरण पर ध्यान केंद्रित करते हुए राष्ट्रीय महत्व की वांतरिक्ष परियोजनाओं (APNI) के प्रस्तावों को डीएसआईआर के समक्ष प्रस्तुत किए हैं। इन परियोजनाओं की समीक्षा सीएसआईआर-एनएएल के मार्गदर्शक डॉ. वी.के. सारस्वत, सदस्य, नीति आयोग द्वारा की गई।

प्रयोगशाला की प्रदर्शन मूल्यांकन बोर्ड (पीएबी) परियोजनाओं के अंतर्गत, हंसा-3 (एनजी) वायुयान ने अपना प्रमाणन पूरा किया और सीएस-23 संशोधन-6 का उपयोग करके आईएफआर प्रमाणन की दिशा में महत्वपूर्ण प्रगति की। हंसा-3 (एनजी) के लिए लाइसेंसिंग गतिविधियों को उद्योग भागीदारों के साथ समझौता ज्ञापन (एमओयू) के साथ लॉन्च

किया गया। माननीय नागर विमानन मंत्री (एमओसीए), श्री के राम मोहन नायडू ने 28 अक्टूबर 2024 को सीएसआईआर-एनएएल का दौरा किया। उन्होंने हंसा-3 (एनजी) वायुयान के तकनीकी दस्तावेजों, जैसे वायुयान उड़ान मैनुअल (एएफएम), वायुयान रखरखाव और मरम्मत मैनुअल (एएमआरएम), और इलस्ट्रेटेड पार्ट्स कैटलॉग (आईपीसी) का अनावरण किया। यह नागर विमानन कार्यक्रम की दिशा में एक महत्वपूर्ण उपलब्धि है और इस कार्यक्रम की प्रासंगिकता को उजागर करता है।

प्रमुख पीएबी परियोजना, सारस एमके II ने अपने पर्यावरण नियंत्रण, उड़ान नियंत्रण, ईंधन और बिजली संयंत्र प्रणालियों में पर्याप्त प्रगति की है। आईआईएससी, बेंगलूरु में 1:6 स्केल सारस एमके II का पावर-ऑन विंड टनल परीक्षण किया गया और एक नई आयरन बर्ड परीक्षण सुविधा तैयार की जा रही है। पिछले वर्ष डीजीसीए द्वारा तीन सारस एमके II प्रोटोटाइप के निर्माण की मंजूरी दी गई और ए एस 9100 डी गुणवत्ता मानक के लिए पुनः प्रमाणन प्राप्त किया गया।

HAPS पर सीएसआईआर-एनएएल का काम राष्ट्रीय विकास के लिए निकट-अंतरिक्ष प्रौद्योगिकियों का उपयोग करने में भारत के प्रयासों में एक महत्वपूर्ण कदम है। HAPS प्रौद्योगिकी प्रदर्शक के उड़ान परीक्षण ने प्रमाणित ऑटोपायलट हार्डवेयर पारिस्थितिकी तंत्र के साथ मूल्यवान अनुभव प्रदान कर रहा है, जिसका अंततः पूर्ण पैमाने पर HAPS में उपयोग किया जाएगा। टीम पूर्ण पैमाने पर HAPS के विकास के लिए पूरी तरह तैयार है।

सीएसआईआर-एनएएल ने डीआरडीओ और इसरो के बाह्य वित्तपोषित राष्ट्र-केंद्रित कार्यक्रमों में युगांतकारी योगदान दिया। मिसाइल और लड़ाकू वायुयान विन्यास के लिए वायुगतिकीय परीक्षण किया गया, जिसमें 1.2 मीटर और 0.6 मीटर ट्राइसॉनिक पवन सुरंगों में 1,957 ब्लोडाउन शामिल हैं। जीएसएलवी प्रायोगिक वाहन मॉडल और एचएलवीएम3 क्रू मॉड्यूल का परीक्षण को भी पूरा किया गया। गगनयान प्रक्षेपण यान के एयरोइलास्टिक मॉडल का सफल डिजाइन और परीक्षण सीएसआईआर-एनएएल की उपलब्धियों की गहराई और विविधता को और ज्यादा उजागर करता है।

एलसीए, एएमसीए और टीईडीबीएफ जैसे राष्ट्रीय महत्व के प्रमुख प्लेटफार्मों में सीएसआईआर-एनएएल की सहभागिता, भारत के वांतरिक्ष क्षेत्र में इसकी सामरिक विश्वसनीयता को स्पष्ट रूप से रेखांकित करती है। सीएसआईआर-एनएएल के प्रयासों को उच्च स्तर पर मान्यता मिली है, जो बीएसएफ जैसे राष्ट्रीय रक्षा बलों के लिए संस्थान द्वारा विकसित प्रौद्योगिकियों के सफल क्षेत्र परीक्षणों तथा इन-स्पेस उपग्रह प्रतियोगिता में इसरो को प्रदान किए गए समर्थन के रूप में परिलक्षित होती है। एलसीए एमके I और एमके-IA के लिए नियंत्रण कानून और ऑटोपायलट सिस्टम को पूरा किया गया जबकि एमके-II, एएमसीए (AMCA) और टीईडीबीएफ (TEDBF) के लिए काम जारी है। मानवरहित किरण प्लेटफॉर्म के विकास के लिए मॉडलिंग और सिमुलेशन में अतिरिक्त प्रगति की गई। सीमा सुरक्षा बल के लिए भुज सीमा पर एक क्यू प्लेन (क्वाड-यूएवी) प्रोटोटाइप का प्रदर्शन किया गया, जिसमें स्वदेशी यूएवी क्षमताओं को प्रदर्शित किया ।

सीएसआईआर-एनएएल की प्रतिबद्धता सेमिलैक से प्राप्त निरंतर अनुमोदन, आरसीएमए द्वारा सामरिक मूल्यांकन, डीआरडीओ एवं इसरो के साथ सहयोगी परियोजनाओं से स्पष्ट होती है। सीएसआईआर-एनएएल ने 26 विफलता जांचों को सुगम बनाया, निजी क्षेत्र के सूक्ष्म उपग्रहों का परीक्षण किया, स्पेस-एक्स (SpaceX) के माध्यम से उनके प्रक्षेपण को सक्षम किया और एलसीए और एएन-32 जैसी प्रमुख भारतीय सैन्य विमानन परिसंपत्तियों के लिए श्रांति जीवन विस्तार में महत्वपूर्ण भूमिका निभाई। इसके अतिरिक्त, संरचनात्मक डिज़ाइन और कठोर परीक्षणों में सीएसआईआर-एनएएल के योगदान ने विमानों की सेवा आयु के विस्तार में महत्त्वपूर्ण भूमिका निभाई, जिससे एक विश्वसनीय राष्ट्रीय वांतरिक्ष अनुसंधान एवं विकास संगठन के रूप में इसकी प्रतिष्ठा और अधिक सुदृढ़ हुई। पूरे भारत में कुल 173 दृश्यता मापन प्रणाली 'दृष्टि' स्थापित की गई है।

वांतरिक्ष पदार्थों और प्रौद्योगिकियों पर सीएसआईआर-मिशन मोड

27 मई 2024 को माननीय उपराष्ट्रपति का सीएसआईआर-एनएएल दौरा

परियोजना में महत्वपूर्ण प्रगति हुई। इस मिशन-मोड परियोजना में कई नवीन पदार्थ, लेपन और उत्पाद विकसित किए गए।

नागर विमानन में अपने प्रमुख योगदान के लिए एनएएल को सीएसआईआर मुख्यालय और नीति आयोग दोनों द्वारा मान्यता मिली। गुणवत्ता और अनुपालन के प्रति संस्थान की प्रतिबद्धता की पुष्टि एएस9100डी प्रमाणन के सफल नवीनीकरण के माध्यम से की गई। ये पहलू सीएसआईआर-एनएएल की तकनीकी क्षमता की बढ़ती संस्थागत और क्षेत्रीय स्वीकृति को दर्शाते हैं।

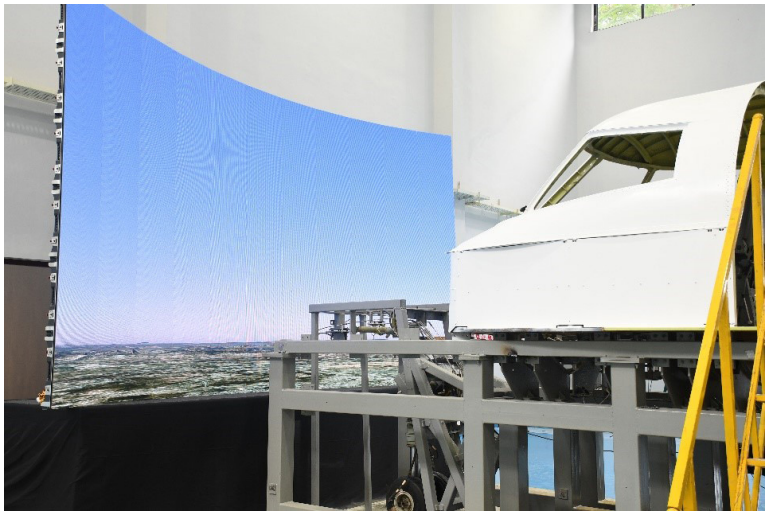
नागर विमानन में योगदान

वर्ष 2024-25 में भारतीय नागर विमानन क्षेत्र में सीएसआईआर-एनएएल का महत्वपूर्ण योगदान रहा। इस क्षेत्र से संबंधित परियोजनाएँ ज्यादातर सीएसआईआर-एनएएल की

28 अक्टूबर 2024 को माननीय नागरिक उड्डयन मंत्री का सीएसआईआर-एनएएल दौरा

29 अक्टूबर 2024 को हंसा-3(एनजी) नेटवर्किंग मीट का आयोजन

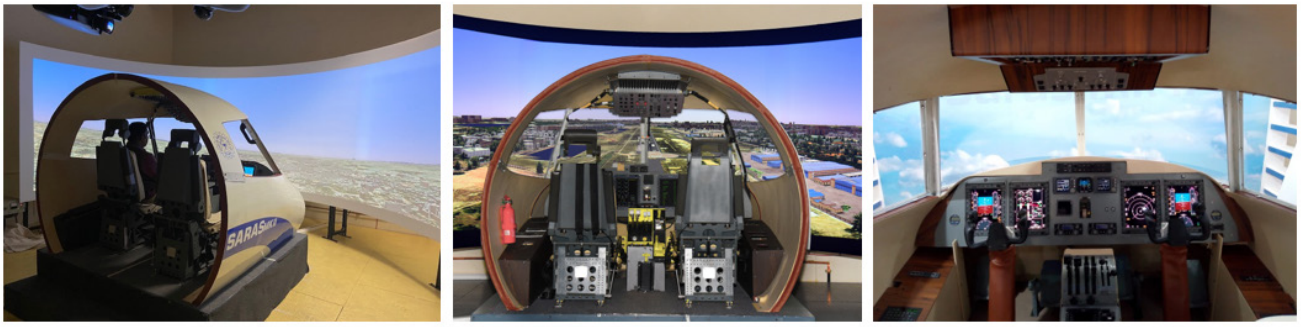
प्रमुख प्रदर्शन मूल्यांकन बोर्ड (पीएबी) परियोजनाएँ हैं, जैसे हंसा 3 (एनजी), सारस एमके II और आर टी ए इन सभी परियोजनाओं ने इस वर्ष के दौरान उल्लेखनीय प्रगति की। शहरी वायु गतिशीलता जैसे के नए क्षेत्रों में गतिविधियाँ शुरू की गईं। सीएसआईआर-एनएएल की विभिन्न पीएबी परियोजनाओं की मुख्य विशेषताएँ निम्नलिखित हैं:



सारस एमके II आयरन बर्ड संरचना असेंबली

हंसा-3 (एनजी)

इस अवधि के दौरान हंसा-3 (एनजी) वायुयान कार्यक्रम ने कई महत्त्वपूर्ण उपलब्धियाँ पाईं। वायुयान प्रमाणन सफलतापूर्वक पूरा किया गया, और आई एफ आर प्रमाणन कार्यक्रम को मंजूरी दी गई तथा डीजीसीए के साथ इस पर चर्चा चल रही है। पिछले वर्षों में उत्पादन-मानक वायुयान (एमएसएन 015) का निर्माण शुरू किया गया तथा एयरफ्रेम एव प्रमुख संरचनात्मक तत्वों के निर्माण को पूरा किया गया। असेंबली और समाकरण का काम जारी है। परिचालन तत्परता का समर्थन करने के लिए, इलस्ट्रेटेड पार्ट्स कैटलॉग (आईपीसी), एयरक्राफ्ट फ़्लाइट मैनुअल (एएफएम), और एयरक्राफ्ट मेंटेनेंस और रिपेयर मैनुअल (एएमआरएम) जैसे आवश्यक मैनुअल को ATA100/ iSpec2200 मानकों के अनुसार तैयार किए गए। इन मैनुअलों को माननीय नागर विमानन मंत्री श्री के. राम मोहन नायडू द्वारा 28 अक्तूबर 2024 को जारी किया गया। 29 अक्टूबर 2024 को सीएसआईआर-एनएएल एक उद्योग बैठक आयोजित की जिसमें उद्योगों से बहुत अच्छी प्रतिक्रिया मिली। इस बैठक में संभावित उद्योग कंपनियाँ सम्मिलित हुईं तथा इन उद्योगो ने जुलाई 2024 में भी सीएसआईआर-एनएएल द्वारा जारी ईओआई पर हंसा-3 (एनजी) वायुयान निर्माण टीओटी में रुचि दिखाई है। वायुयान के आउट-लाइसेंसिंग और व्यावसायीकरण के लिए मेसर्स पायनियर क्लीन एम्प्स प्राइवेट लिमिटेड के साथ एक सामरिक समझौता ज्ञापन पर हस्ताक्षर किए जाएंगे। वर्ष के दौरान हंसा-3 (एनजी) के लिए 225 से अधिक शीट मेटल पार्ट्स, संबंधित जिग्स और असेंबली का निर्माण किया गया। सीएसआईआर-एनएएल ने एवियोनिक्स, इलेक्ट्रिकल सिस्टम और फ्लाइट टेस्ट इंस्ट्रूमेंटेशन का विकास जारी रखा और आईएफआर प्रमाणन आवश्यकताओं का अनुपालन सुनिश्चित किया। इस परियोजना में सीएसआईआर-सीएसआईओ के सहयोग से विकसित कस्टम एलईडी लाइटिंग सिस्टम का सफल समाकलन और परीक्षण भी किया गया। उन्नत टेलीमेट्री और डेटा विज़ुअलाइज़ेशन सिस्टम एक्स-डीएएएस का फील्ड परीक्षण प्रभावी ढंग से किया गया। इसके



सारस एमके II सिम्युलेटर और एवियोनिक्स इंटीग्रेशन टेस्ट रिग (एआईटीआर)

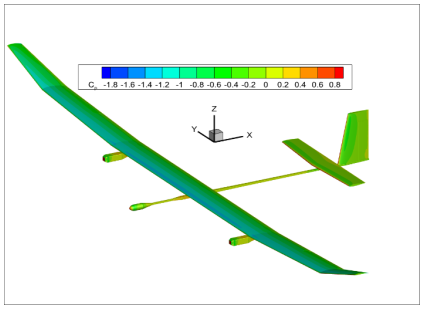
अतिरिक्त, आगामी पूर्ण पैमाने पर श्रान्ति परीक्षण का समर्थन करने के लिए एक श्रान्ति लोड स्पेक्ट्रम विकसित किया गया, जिससे वायुयान के विकास को और बढ़ाया जा सके।

सारस एमके II

सारस एमके II कार्यक्रम ने इस वर्ष के दौरान कई महत्वपूर्ण विकासात्मक उपलब्धियाँ हासिल कीं। नौ प्रमुख उप-डोमेन के लिए सीडीआर पूरे किए गए, जिनमें एम्पेनेज, रडोम, ब्रेक और केबिन डोर सिस्टम (यात्री, कार्गो और आपातकालीन) जैसे सिस्टम शामिल हैं। इससे डिजाइन परिपक्वता और समाकलन तत्परता सुनिश्चित हुई। एवियोनिक्स और इलेक्ट्रिकल सिस्टम के लिए सीडीआर भी सफलतापूर्वक संपन्न हुआ। समवर्ती रूप से, प्रमुख सिस्टम विकास आगे बढ़े, जिसमें एकीकृत एवियोनिक्स फ्लाइट कंट्रोल कंप्यूटर (आईएएफसीसी), स्टॉल वार्निंग और प्रोटेक्शन सिस्टम, ब्रेक मैनेजमेंट सिस्टम और एक कस्टम थर्मल-इंसुलेटिंग पेंट शामिल है, जिसे सेमिलैक से स्वीकृति भी मिली। एकीकृत सुरक्षा और संचार क्षमताओं की विशेषता वाला एक कस्टम विंडशील्ड हीटर भी विकसित किया गया।

एयरवर्थिनेस के क्षेत्र में, एयरवर्थिनेस सर्टिफिकेशन प्लान (एसीपी) और टाइप अप्रूवल बेसिस (टैब) जैसे दस्तावेज़ों को सेमिलैक और डीजीसीए दोनों से मंजूरी मिली। तीन प्रोटोटाइप के निर्माण के लिए डीजीसीए के साथ एक समझौते पर हस्ताक्षर किए गए। इसके बाद, 50 से अधिक उड़ान योग्य शीट धातु के पुर्जे तैयार किए गए। संरचनात्मक एकीकरण को परिमित तत्व विधि (एफईएम)-आधारित भार वितरण विश्लेषण के साथ उन्नत किया गया, और विश्वसनीयता अध्ययन के साथ द्रव्यमान और सीजी अनुकूलन के परिणामस्वरूप लगभग 200 किलोग्राम का अनुमानित वजन कम किया गया। इसके अतिरिक्त, संरचनात्मक मजबूती और विश्वसनीयता सुनिश्चित करने के लिए व्यापक विफलता मोड, प्रभाव विश्लेषण (एफएमईए) और तनाव/आवृत्ति अध्ययन किया गया है।

समाकलित परीक्षण के लिए आयरन बर्ड सुविधा की स्थापना के माध्यम से ग्राउंड परीक्षण क्षमताओं को बढ़ाया गया। कुल 289 इंजन ग्राउंड रन आयोजित किए गए, जिसमें 100% टॉर्क परीक्षण शामिल था। आईआईएससी में 1:6 स्केल मॉडल का सफल परीक्षण भी विंड टनल मूल्यांकन में शामिल है। कार्यक्रम ने प्राथमिक और बहुक्रियाशील उड़ान डिस्प्ले के साथ एवियोनिक्स इंटीग्रेशन टेस्ट रिग (AITR) का सफल एकीकरण भी हासिल किया। इसके अलावा, रेडोम का डिज़ाइन एक नए रडार सिस्टम को समायोजित करने के लिए किया गया। इस वर्ष टीमसेंटर का उपयोग कर उत्पाद जीवनचक्र प्रबंधन (PLM) को कार्यान्वित किया गया। ताकि डिज़ाइन और निर्माण कार्य प्रवाह को कारगर बनाया जा सके। सीएसआईआर मुख्यालय को एक संशोधित लागत और समय



हैप एफ एस विन्यास पर C_p समोच्च रेखाएँ

1.5 मीटर एलएसडब्ल्यूटी में प्रोपेलर परीक्षण का प्रायोगिक सेटअप

वृद्धि प्रस्ताव प्रस्तुत किया गया है। नियंत्रण पहिया का प्रोटोटाइप तैयार कर लिया गया है और एर्गोनोमिक मूल्यांकन पूरा कर लिया गया है तथा कार्यात्मक मूल्यांकन भी प्रगति पर है।

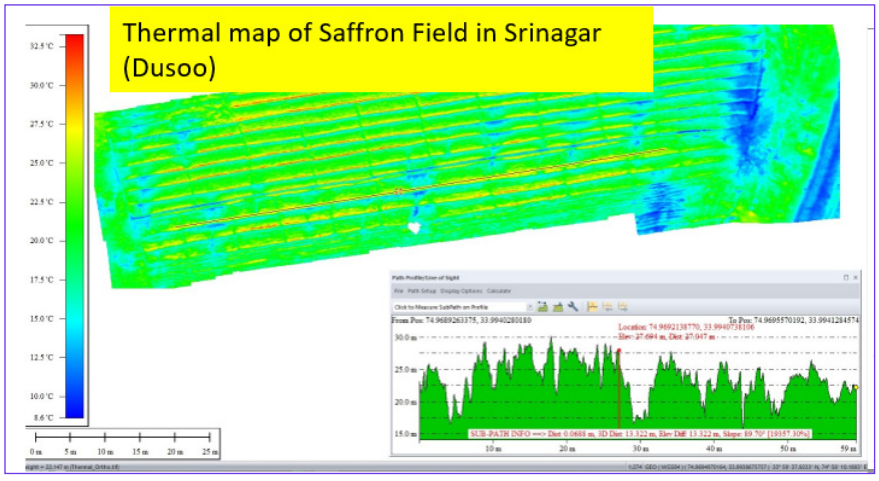
उच्च ऊंचाई छद्म उपग्रह (HAPS)

HAPS परियोजना ने कई तकनीकी क्षेत्रों में पर्याप्त प्रगति हासिल की जिसमे परियोजना के लिए आवश्यक उपकरणों का सफलतापूर्वक निर्माण, और कैम प्रोग्रामिंग और सी एन सी मशीनिंग के माध्यम से सटीक घटक निर्माण शामिल हैं। मॉडलिंग एवं सिमुलेशन, वायुगतिकीय अभिलक्षणीकरण

और नियंत्रण कानून विकास के क्षेत्रों में महत्वपूर्ण प्रगति हुई जिससे प्लेटफ़ॉर्म के डिज़ाइन और स्थिरता के लिए एक मजबूत नींव प्रदान हुई। संतुलित उड़ान प्रदर्शन सुनिश्चित करने के लिए द्रव्यमान और गुरुत्वाकर्षण केंद्र (सी जी) को सटीक रूप से स्थापित किया गया। 2 जी लोडिंग स्थितियों के तहत एक पूर्ण पैमाने के पंख का डिज़ाइन और संरचनात्मक रूप से विश्लेषण किया गया। इस विश्लेषण में द्रव-संरचना इंटरैक्शन अध्ययन, इसके वायुगतिकीय व्यवहार में और अधिक जानकारी प्राप्त हुई। इसके अतिरिक्त, धड़ और ऊर्ध्वाधर पूंछ के संरचनात्मक विन्यास विकसित और परिष्कृत किए गए, इससे समग्र एयरफ्रेम डिज़ाइन कार्य में प्रगति हुई। HAP पूर्ण पैमाने (एफ एस) ver-0.2 पर विभिन्न उड़ान स्थितियों के अनुरूप विभिन्न रेनॉल्ड्स संख्याओं पर सीएफडी सिमुलेशन किए गए। वायुगतिकीय दक्षता (एल/डी) स्वीकार्य सीमाओं के अंतर्गत है और इस श्रेणी के हवाई यानों के लिए खुले साहित्य में मौजूद ऑंकड़ों से अच्छी तरह मेल खाती है। पूर्ण पैमाने के हैप के लिए उच्च दक्षता वाले प्रोपेलर के विकास कार्य से पूर्व, हैप उप-पैमाने के मौजूदा कोट्स प्रोपेलर को एन ए एल मे अभिकल्पित प्रोपेलर से बदला गया। इस निर्मित प्रोपेलर से प्राप्त दक्षता और थ्रस्ट स्तर के परिणाम दर्शाते हैं कि बीईएमटी कोड द्वारा अनुमानित दक्षता और थ्रस्ट स्तर के परिणाम के साथ अच्छी तरह से मेल खाते हैं, जिससे इस कोड को पूर्ण पैमाने पर प्रोपेलर के विकास हेतु अपनाने में पर्याप्त विश्वास प्राप्त है।

मानव रहित हवाई वाहन (यूएवी)

इस वर्ष के दौरान विभिन्न मानव रहित हवाई वाहन (यूएवी) कार्यक्रमों में महत्वपूर्ण प्रगति हुई। क्यू-प्लेन (क्वाड-यूएवी) को सीमा सुरक्षा बल (बीएसएफ) के लिए डिजाइन किया गया और सफलतापूर्वक प्रदर्शित किया गया, साथ ही इस प्लेटफॉर्म के इंजन-संचालित संस्करण को विकसित करने का प्रयास किया जा रहा है। ऑक्टा-60 यूएवी को डमी उपग्रह प्रक्षेपण के लिए इनस्पेस इवेंट में तैनात किया गया जो इसकी परिचालन उपयोगिता को दर्शाता है। इसके अतिरिक्त, परिशुद्ध कृषि की सहायता करने के लिए एक यूएवी-आधारित वेरिएबल-रेट कीटनाशक स्प्रेयर विकसित किया गया। सीएसआईआर-4पीआई और सीएसआईआर-आईआईआईएम के साथ सहयोगी कृषि-प्रौद्योगिकी मिशन ने मल्टीस्पेक्ट्रल, हाइपरस्पेक्ट्रल और लिडार इमेजरी के अधिग्रहण की सुविधा प्रदान की, जिससे कृषि क्षेत्र में यूएवी अनुप्रयोगों के विस्तार में मदद मिली। सीएसआईआर एनएएल ने एक प्रौद्योगिकी सह निवेश भागीदार को शामिल करने के लिए लॉयटरिंग म्यूनिशन (एलएम) यूएवी के विकास के लिए प्रस्ताव के लिए अनुरोध (आरएफपी) किया । लगभग 21 कम्पनियों ने अपनी बिड प्रस्तुत की और एनएएल के साथ निवेश और काम में सहकार्यता करने की इच्छा व्यक्त की है। एनएएल की तकनीकी मूल्यांकन समिति ने 21 कंपनियों में से 8 कंपनियों को चयनित किया है। वर्तमान परियोजना टीम एलएम यूएवी के वायुगतिकीय विन्यास को अंतिम रूप देने और वांकल इंजन को 2.2-2.4 कि.मी. की ऊंचाई पर परीक्षण करने के लिए भी काम कर रही है।



यूएवी का उपयोग करके श्रीनगर (डूसू) में केसर के खेत का थर्मल मानचित्र

क्षेत्रीय परिवहन विमान (आर टी ए)

आईआईटी-कानपुर में आर टी ए विन्यास का पवन सुरंग परीक्षण किया गया, जिससे मूल्यवान वायुगतिकीय ऑंकड़ें प्राप्त हुए। सुपरहाइड्रोफोबिक कोटिंग्स और बाउंड्री लेयर ट्रिप्स (बी एल टी) पर समवर्ती अध्ययनों ने इन पवन सुरंग अध्ययनों के दौरान सतह प्रौद्योगिकी और प्रवाह

नियंत्रण की प्रगति में योगदान दिया। सभी परियोजना दस्तावेजों को सीएसआईआर-एनएएल के उत्पाद जीवनचक्र प्रबंधन (पी एल एम) ढांचे, टीमसेंटर के भीतर व्यवस्थित रूप से संग्रहीत किया गया है। इससे कुशल रिकॉर्ड का रखरखाव होता है। इसके अतिरिक्त, एपीएनआई (APNI) योजना के तहत इस श्रेणी के वायुयानों के लिए, भविष्य के नागरिक परिवहन वायुयान प्रणालियों के विकास के समर्थन के लिए एक विस्तृत परियोजना रिपोर्ट (डी पी आर) प्रस्तुत की गई।

शहरी वायु गतिशीलता (यू ए एम)

अगली पीढ़ी के शहरी गतिशीलता समाधानों के साथ बने रहने के लिए, सीएसआईआर-एनएएल ने शहरी एयर टैक्सी (यूएटी) और एकीकृत हवाई क्षेत्र प्रबंधन (यूएएम) प्रणालियों के विकास के लिए अनुसंधान और डिजाइन प्रयासों की शुरुआत की है। इन क्षेत्रों में सहयोग को मजबूत करने और प्रगति में तेजी लाने के लिए टाटा एलेक्सी, यूबीफ्लाई और भारत इलेक्ट्रॉनिक्स लिमिटेड (बीईएल) के साथ, यूएटी और यूएएम पहलुओं का समर्थन करने वाली प्रौद्योगिकियों के संयुक्त विकास और एकीकरण करके सामरिक साझेदारी स्थापित करने के लिए समझौता ज्ञापन (एमओयू) पर हस्ताक्षर किए गए।

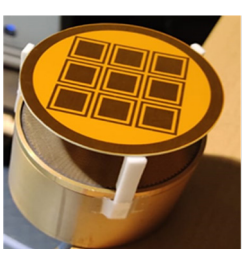
सामरिक क्षेत्र में योगदान

परंपरा को जारी रखते हुए, सीएसआईआर-एनएएल ने वर्ष 2024-25 के दौरान सामरिक

1.2 मीटर पवन सुरंग में स्थापित एक विशिष्ट मिसाइल विन्यास मॉडल

क्षेत्र को अपना निरंतर समर्थन दे रहा है। डीआरडीओ के विभिन्न रक्षा कार्यक्रमों में कई महत्वपूर्ण योगदान दिए गए। इन परियोजनाओं की मुख्य विशेषताएं निम्नलिखित हैं:

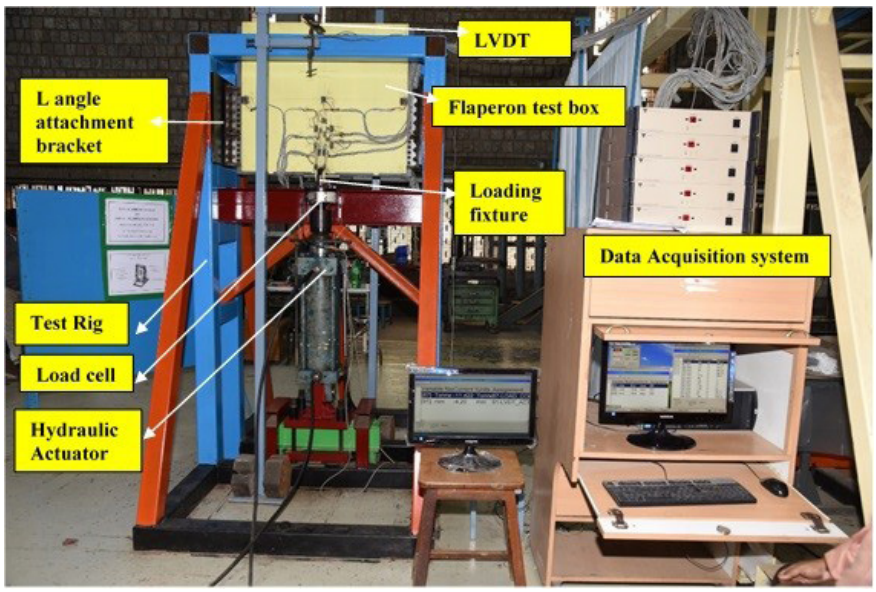
इस अवधि के दौरान, डीआरडीओ के लिए कई बाह्य परियोजनाओं को क्रियान्वित किया गया, जिसमें उपकरण और घटक निर्माण के साथ-साथ उत्पादन के बाद का समर्थन भी शामिल था। एलसीए और एफयूएफए जैसे सामरिक प्लेटफार्मों के लिए पवन सुरंग मॉडल का निर्माण और निरीक्षण पूरा किया गया। प्रक्षेपण यान, मिसाइल और लड़ाकू वायुयान विन्यास के लिए ट्राइसोनिक पवन सुरंगों में कुल 1,957 ब्लोडाउन किए गए, जो इसरो, डीआरडीओ और एडीए सहित अन्य ग्राहकों को सेवा प्रदान करते हैं। वायुगतिकीय अध्ययनों में नियंत्रण सतह की प्रभावशीलता, हिंज मोमेंट माप और स्टोर एकीकरण के प्रभाव का विश्लेषण किया गया। कार्बन-फाइबर/सिलिकॉन कार्बाइड (C_f/SiC) घटकों का सहयोगात्मक विकास कार्य को प्रगति प्रदान करने के लिए इसका इस्तेमाल डीएमआरएल, हैदराबाद के लॉन्ग रेंज हाइपरसॉनिक वाहनों (एल



कम आर सी एस इलेक्ट्रॉनिक वारफेयर (ई डब्ल्यू) एंटेना (1-18 GHz) के प्रोटोटाइप

एलसीए एएफ एमके II क्वार्ट्ज रडोम

आर एच वी) के लिए घटक जैसे काउल प्लेट्स, फेंस प्लेट्स और नोज़ टिप्स दिया गया जबकि आरसीआई, हैदराबाद के साथ चौथी पीढ़ी के वायुयानों के लिए ब्रेक डिस्क अनुप्रयोगों का मूल्यांकन किया गया। 26 वांतरिक्ष और रक्षा दुर्घटनाओं



एएमसीए फ्लैपरॉन परीक्षण बॉक्स असेंबली का पूरा स्टैटिक स्ट्रेंथ टेस्ट सेटअप

के लिए विफलता विश्लेषण पूरा किया गया।

सीएसआईआर-एनएएल ने डीआरडीओ और रक्षा के सार्वजनिक उपक्रमों (डीपीएसयू) को एलसीए एमके-I, एमके-IA, एमके II , ट्रेनर, एएमसीए और टीईडीबीएफ सहित कई प्रकार के विमानों के लिए नियंत्रण कानून विकास और सिमुलेशन कार्य में अपना सहयोग देना जारी रखा, साथ ही ऑटो-थ्रॉटल सिस्टम, सिंथेटिक विजन सिस्टम और पायलट-इन-लूप सिमुलेशन पर काम किया। लड़ाकू वायुयान मूल्यांकन के लिए डिस्ट्रीब्यूटेड इंजीनियर-इन-लूप सिम्युलेटर (डीईएलएस) का बड़े पैमाने पर उपयोग किया गया। एयरबोर्न इंफ्रारेड सर्च एंड ट्रैक सिस्टम का विकास आईआरडीई, डीआरडीओ के साथ किया गया। एलसीए एएफ एमके II क रेडोम और एएमसीए एकीकृत बिजली संरक्षण सुविधा के विकास में साझेदारी की गयी। अनुसंधान और विकास गतिविधियों में उन्नत स्टेल्थ सिस्टम, लो-आरसीएस एंटेना और सक्रिय रेडार क्रॉस-सेक्शन रिडक्शन (आरसीएसआर) तकनीक शामिल हैं, जिसमें उच्च गति वाले वांतरिक्ष संचार के लिए टेराहर्ट्ज एंटेना पर प्रारंभिक कार्य शुरू हुआ। रोटरक्राफ्ट प्लेटफ़ॉर्म पर मॉडलिंग और नियंत्रण कार्य भी शुरू किया गया।

भविष्य में मानवरहित लड़ाकू वायुयान (एफयुएफए) के हिंज मोमेंट कैलिब्रेशन सेटअप एवं संबंधित विंड टनल मॉडल पूरे किये गए, जो वायुगतिकीय विश्लेषण के लिए महत्वपूर्ण

एनजे-100 छोटा गैस टर्बाइन इंजन

आंकड़ें प्रदान करते हैं। मानवरहित किरण वायुयान के लिए सिस्टम पहचान और नियंत्रण एल्गोरिदम के विकास कार्य में प्रगति की गयी। इससे इसकी उड़ान क्षमताएं बढ़ गई हैं। डीआरडीओ द्वारा प्रायोजित यूएवी कार्यक्रमों के तहत, इन्फ्रारेड सर्च एंड ट्रैक (आईआरएसटी), मिसाइल अप्रोच वार्निंग सिस्टम (एमएडब्ल्यूएस), रेडार वार्निंग रिसीवर (आरडब्ल्यू आर) और रेडार तकनीकों को एकीकृत करने वाले मल्टी-टारगेट ट्रैकिंग सिस्टम के लिए परिष्कृत एल्गोरिदम और हार्डवेयर विकसित किए गए ।

सीएसआईआर-एनएएल द्वारा एचएएल/एयरफोर्स से जगुआर वायुयान डैरिन -III सिम्युलेटर विकास पर परियोजना शुरू की

यूडी कार्बन फाइबर प्रीप्रेग मशीन

डी-ओ-डी परीक्षण के बाद सीएफ/सी-एसआईसी सम्मिश्रण डिस्क

पिघले हुए $Ni_{50}Ti_{30}Hf_{20}$ उच्च तापमान आकार स्मृति मिश्र धातु पैनकेक

विकसित एलटीसीसी-पीजेडटी पैकेज्ड एक्सेलेरोमीटर प्रोटोटाइप

गई। सीटीएफडी टीम ने कम समय में व्यापक वायुगतिकीय डेटाबेस तैयार करने के लिए जगुआर वायुयान के करीब 200 विन्यासों के लिए वायुगतिकीय ऑकड़ा प्रदान किया है। सीएफडी का अभिनव उपयोग किया गया है। सीएसआईआर-एनएएल 1.2 मीटर सुरंग में एक विशिष्ट मिसाइल विन्यास के छोटे मॉडल पर 0.6 से 1.2 की मैक संख्या रेंज में वायुगतिकीय अभिलक्षण और - 8 डिग्री से 22 डिग्री के आक्रमण कोण रेंज में अलग अभिविन्यासों पर पवन सुरंग परीक्षण पूरे किए गए।

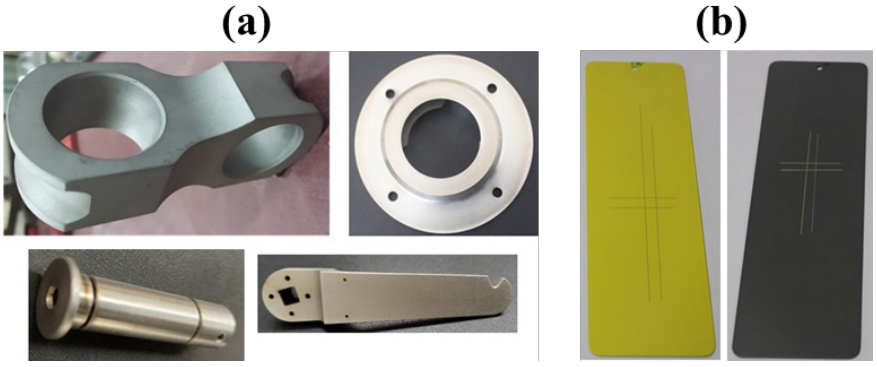
स्टेल्थ, रेडोम और इलेक्ट्रोमैग्नेटिक सिग्नेचर कंट्रोल प्रौद्योगिकियों में भी प्रगति हुई। सीएसआईआर-एनएएल ने स्पाइरल एंटेना और विवाल्डी एंटेना जैसे कम आर सी एस इलेक्ट्रॉनिक वारफेयर (ई डब्ल्यू) एंटेना का विकास किया।।

सम्मिश्रण पदार्थ क्षेत्र में उल्लेखनीय प्रगति की गयी जिसमें क्वार्ट्ज-सायनेट एस्टर कंपोजिट का उपयोग करके पूर्ण पैमाने पर एल सी ए रेडोम का विकास और उच्च तापमान पॉलीमाइड कंपोजिट से निर्मित एक कंपोजिट बाईपास डक्ट शामिल है। एल सी ए सेंटर फ्यूज़लेज कंपोजिट घटकों के लिए सह-उपचार प्रौद्योगिकी का अनुप्रयोग किया गया। एल सी ए एस पी ट्रेनर के इन-फ़्लाइट रिफ्यूएलिंग (आई एफ आर) प्रोब के लिए एक श्रांति जीवनकाल परीक्षण रिग विकसित किया गया। इस श्रांति परीक्षण ने ए एन-32 मुख्य लैंडिंग गियर हब की अतिरिक्त 1,000 लैंडिंग के लिए इसके परिचालन जीवनकाल को बढ़ाने में सहायता की। एएमसीए घटकों पर पक्षी हमले के परीक्षणों के लिए 3डी डिजिटल इमेज कोरिलेशन जैसी उन्नत उपकरण तकनीकों का उपयोग किया गया, जबकि एएमसीए के लिए फ्लैपरॉन परीक्षण बॉक्स ने सफलतापूर्वक डिजाइन योग्यता पूरी की गई जो इन वांतरिक्ष पहलुओं के व्यापक दायरे एवं तकनीकी गहराई को दर्शाता है।

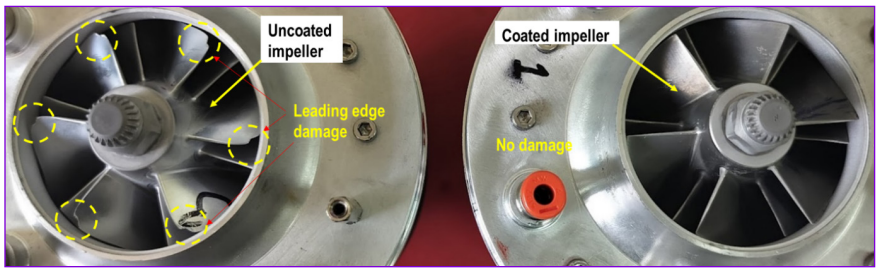
नोदन प्रभाग द्वारा 100 kgf थ्रस्ट वाले छोटे गैस टर्बाइन इंजन (एनजे-100) का डिजाइन और विकास किया गया । इंजन का उद्देश्य सामरिक यूएवी और क्रूज मिसाइलों को शक्ति प्रदान करना है। इंजन का सफलतापूर्वक परीक्षण 100% डिज़ाइन गति पर किया गया। एनजे-5 इंजन को एक मॉडल वायुयान में समाकलित किया गया और उड़ान परीक्षण किया गया।

विशेष पदार्थ और लेपनों में योगदान

वर्तमान और भविष्य के वांतरिक्ष अनुप्रयोगों का सहयोग करने के लिए पदार्थ, लेपन और सम्मिश्रण प्रौद्योगिकियों में महत्वपूर्ण प्रगति की गई। कार्बन फाइबर के विकास ने सम्मिश्रण पदार्थों में, अनुकूलित पोलीमराइजेशन, स्पिनिंग और ऑक्सीकरण के माध्यम से मध्यवर्ती मापांक फाइबर को बढ़ाने पर ध्यान केंद्रित किया। बेहतर फ्रैक्चर टफनेस और हॉट-वेट प्रदर्शन के साथ एक स्वदेशी C_f/एपॉक्सी प्रीप्रेग विकसित किया गया, और एक नए डबल प्लैनेटरी मिक्सर



n-Ni प्लेटेड जटिल घटक

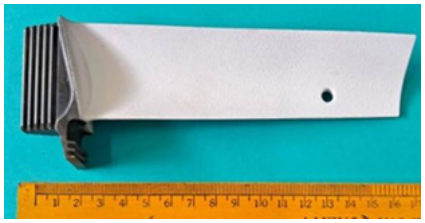


रीक्षण के बाद कंप्रेसर इम्पेलर्स पर क्षरण-रोधी कोटिंग्स के साथ और बिना NJ5-PT04 इंजन

का उपयोग करके सफलतापूर्वक बडे पैमाने पर तैयार किया गया । बडे पैमाने पर तैयार किया गया रेजिन का मूल्यांकन किया गया और उद्योग भागीदार के साथ यूनिडायरेक्शनल (यू डी) कार्बन फाइबर प्रीप्रेग में बनाया गया।

निकल-टाइटेनियम-हाफ़नियम (Ni-Ti-Hf) उच्च तापमान आकार स्मृति मिश्र धातु (एचटीएसएमए) के विकास पर अनुसंधान कार्य शुरू किया गया जो विभिन्न उच्च तापमान प्रवर्तन अनुप्रयोगों के लिए उपयोगी कम थर्मल हिस्टैरिसिस दर्शाता है। वैक्यूम आर्क-मेल्टिंग प्रक्रिया का उपयोग करके 450 ग्राम स्केल बैच पर नॉमिनल संरचना $Ni_{50}Ti_{30}Hf_{20}$ और $Ni_{24}Ti_{30}Hf_{20}Cu_6$ (सभी at. %) के मिश्र धातुओं को सफलतापूर्वक तैयार किया गया। गैस टरबाइन इंजन के दहन कक्ष बाहरी आवरण (सीसीओसी) में अनुप्रयोग किये जाने वाले तथा आईएन718 सुपरअलॉय के वेल्ड हीट ट्रीटमेंट (पीडब्ल्यूएचटी) के बाद क्रीप गुणधर्म का अध्ययन किया गया।

सीएसआईआर-एनएएल पिछले 2 दशकों से कार्बन फाइबर और सीएफ/एसआईसी कंपोजिट के विकास पर कार्य कर रहा है और वायुयान ब्रेक डिस्क, लंबी दूरी के हाइपरसोनिक वाहनों और अन्य उच्च तापमान अनुप्रयोगों के लिए सीएफ/सी-एसआईसी सिरेमिक मैट्रिक्स कंपोजिट (सीएमसी) के स्वदेशी विकास पर काफी काम किया गया । कम निर्माण समय/लागत (40-50%) के साथ सीएफ/सी-एसआईसी कंपोजिट बनाने के लिए सीवीआई और लिक्विड सिलिकॉन इनफिल्ट्रेशन (एलएसआई) की संकर प्रक्रिया को नियोजित किया गया और उनके मूल गुणधर्मों का मूल्यांकन किया गया। C_f/SiC कंपोजिट को वायुयान ब्रेक डिस्क और हाइपरसोनिक वाहनों में उपयोग के लिए हाइब्रिड CVI+LSI



इन-हाउस संश्लेषित डोप्ड YSZ पाउडर का उपयोग करके थर्मल बैरियर कोटिंग का विकास

प्रक्रिया के माध्यम से उत्पादित किया गया, जबकि सिरेमिक मैट्रिक्स कंपोजिट (सी एम सी) को ब्रेक और रेडोम अनुप्रयोगों के लिए विकसित किए गए। हाल ही में, सीएसआईआर-एनएएल ने सिलिकॉन नाइट्राइड रेडोम के संयुक्त विकास के लिए बीईएल के साथ एक एनडीए समझौते पर हस्ताक्षर किए हैं।

वांतरिक्ष पदार्थों पर मिशन मोड परियोजना की कुछ मुख्य विशेषताएं उल्लेखनीय हैं। सीएसआईआर-सीईईआरआई, पिलानी के सहयोग से कम तापमान वाले को-फायर्ड सिरेमिक (एलटीसीसी) आधारित पीजेडटी एक्सेलेरोमीटर का विकास किया । विकसित प्रोटोटाइप का निष्पादन आशाजनक पाया गया। एक तीन-परत, क्रोमेट-मुक्त, पर्यावरण अनुकूली कोटिंग प्रणाली विकसित की गई और कई परीक्षणों के लिए इसके निष्पादन का परीक्षण किया गया । आरसीएमए (एफएंडएफ) और आरसीएमए-कानपुर के परामर्श से योग्यता परीक्षण अनुसूची (क्यूटीएस) तैयारी के साथ-साथ प्रमाणन प्रक्रिया अब चल रही है। एक बहु-परत TiCr/TiCrN क्षरण-संक्षारण प्रतिरोधी कोटिंग विकसित की गई तथा Al-7075 से बने कंप्रेसर इम्पेलर पर जमा किया गया। छोटे गैस टर्बाइन

(NJ5-PT04) इंजन में ~95000 से 100,000 आरपीएम की गति से घूमने और मोटे एल्यूमिना इरोडेंट कणों को कंप्रेसर में पास करके कोटिंग के निष्पादन का परीक्षण सफलतापूर्वक किया गया। संक्षारण प्रतिरोध में कोटेड इंपेल्लर ने बिना कोटेड इंपेल्लर की तुलना में बहतर प्रदर्शन किया । डोप किए गए YSZ, Yb_2O_3 डोप किए गए, $Gd_2Zr_2O_7$ (GdYbZ) और $La_2Zr_2O_7$ आधारित थर्मल बैरियर कोटिंग्स (टीबीसी) जैसे कम तापीय चालकता वाले ऑक्साइड विकसित किए गए और डोप किए गए YSZ प्लाज्मा स्प्रे किए गए TBC ने वाणिज्यिक YSZ कोटिंग की तुलना में कम तापीय चालकता, कम क्षरण दर, उच्च तापमान गिरावट और थर्मल चक्र प्रदर्शित किए। संश्लेषित सिलिका नैनोकणों का उपयोग करके एक मजबूत और टिकाऊ स्व-सफाई पॉलीयूरेथेन-आधारित सुपरहाइड्रोफोबिक (एस एच) कोटिंग तैयार की गई। इन कोटिंग्स ने वाणिज्यिक सिलिका नैनोकणों वाली कोटिंग की तुलना में बेहतर स्थायित्व (त्वरित अपक्षय परीक्षण के 200 घंटे से अधिक, 16 डी-आइसिंग चक्र और 15 दिनों तक पानी में डूबे रहने की क्षमता) प्रदर्शित किया।

हंसा-3 (एनजी) के कुछ घटकों को पर्यावरण अनुकूली एनोडाइजिंग प्रक्रिया का उपयोग कर एनोडाइज किया गया और इन घटकों को अगले वायुयान उत्पादन मानक में समाकलित किया जाएगा। त्रिसंयोजक क्रोम पैसिवेटेड Zn-Ni प्लेटेड एन सी एम स्टील के नमूने ने मंडपम, रामेश्वरम में लगभग 2000 घंटे

ध्वनिक कक्ष में एच एल वी एम 3 उपकरण बे

के लवणीय वातावरण में प्रदर्शन के लिए अर्हता प्राप्त की । आर सी एम ए, एफ और एफ द्वारा टाइप अनुमोदन के लिए एल सी ए घटकों पर प्रक्रिया का शीघ्र ही प्रदर्शन किया जाएगा। सीएसआईआर-एनएएल टीम ने नॉलसन-एनजी™ प्रौद्योगिकी के लिए मेसर्स सुप्रीम सोलर प्राइवेट लिमिटेड को सहायता की। देश में पहली बार, सीएसआईआर-एनएएल ने टीएमआर सेंसर के लिए स्पिनट्रॉनिक-आधारित चुंबकीय सुरंग जंक्शन (एमटीजे) का निर्माण किया । चुंबकीय सेंसर की संवेदनशीलता 220% टीएमआर पर 800 एमवी/वी/ओई पाई गई, और विद्युत सेंसर के प्रति संभावित भविष्य के औद्योगिक अनुप्रयोग हैं।

सीएसआईआर-एनएएल ने आसंजक बॉन्डिंग अनुप्रयोगों के लिए पर्यावरण अनुकूल प्रक्रिया, उच्च तापमान थर्मल इंसुलेटिंग पेंट, कम घनत्व वाले प्रवाहकीय पेंट और निष्क्रिय दिन के समय विकिरण शीतलन (पीडीआरसी) कोटिंग जैसे विशिष्ट क्षेत्रों में नई पहल की है। सीएसआईआर-एनएएल ने स्कैंडिया स्टेबिलाइज़ड जिरकोनिया इलेक्ट्रोलाइट समर्थित ठोस ऑक्साइड ईंधन सेल विकसित किया है और इसका सफलतापूर्वक परीक्षण भी पूरा कर लिया गया है।

अंतरिक्ष में योगदान

सीएसआईआर-एनएएल 1.2 मीटर पवन सुरंग में एक छोटे मॉडल एचएलवीएम3 विन्यास पर अस्थिर दबाव मापन कार्य किए गए। मैक स्वीप और असतत मैक संख्या मोड के बीच डेटा की अच्छी तुलना देखी गई। प्रमुख बहि:सरण के महत्वपूर्ण प्रभाव को अंकित किया। टेस्ट वेहिकल क्रू एस्केप सिस्टम (टीवी-सीईएस), स्पेंट स्टेज कॉन्फ़िगरेशन के छोटे मॉडल पर वायुगतिकीय डाटा उत्पन्न करने के लिए पवन सुरंग अध्ययन किए गए।

सी 32 इंटर-स्टेज कॉन्फ़िगरेशन, LVM3 लॉन्च वाहन का एक महत्वपूर्ण संरचनात्मक तत्व है. इसका ध्वानिक परीक्षण सुविधा (ए टी एफ) में विस्तृत ध्वानिक योग्यता के लिए परीक्षण किया गया। सीएसआईआर-एनएएल ने गगनयान मिशन के लिए विकसित मानव-रेटेड प्रमोचन यान (एच एल वी एम 3) के लिए ध्वानिक परीक्षण किया, ताकि आंतरिक रव वातावरण

की विशेषता आंकी जा सके और प्रक्षेपण-जैसे ध्वानिक भार के तहत प्रमुख इलेक्ट्रॉनिक पैकेजों की कंपन प्रतिक्रिया का मूल्यांकन किया जा सके।

जी एस एल वी - एफ 15 और एफ 16 उड़ान स्वीकृति प्रक्रिया के भाग के रूप में, ए टी एफ ने जी एस एल वी मिशनों में उपयोग किए जाने वाले चार एल 40 स्ट्रैप-ऑन नोज़कोन एवियोनिक्स डेक की ध्वानिक योग्यता परीक्षण पूरे किए गये।

सामाजिक क्षेत्र में योगदान

नागर विमानन क्षेत्र और सामरिक क्षेत्र में योगदान देने के अलावा, सीएसआईआर-एनएएल अपनी स्पिन-ऑफ प्रौद्योगिकियों और जानकारी के साथ सामाजिक क्षेत्र में योगदान दे रहा है। 12-फीट जल-दोस्त परियोजना महत्वपूर्ण रूप से 40-फीट फ्लोटिंग अर्थमूवर में विकसित हुई है, जो अब प्रौद्योगिकी तत्परता स्तर 9 (टी एल आर -9) प्राप्त कर रही है। इसे बीबीएमपी झीलों को साफ करने में उपयोग कर रहा है। एनएएल द्वारा विकसित यूएवी को परिशुद्ध कृषि हेतु श्रीनगर, जम्मु में उपयोग किया जा रहा है।

कृत्रिम बुद्धिमत्ता और मशीन लर्निंग (एआई/एमएल) तकनीकों को नाउकास्टिंग मॉडल को बढ़ाने के लिए लागू किया गया है, जिसका उद्देश्य विमानन और नवीकरणीय ऊर्जा दोनों क्षेत्रों के लिए पूर्वानुमान की सटीकता में सुधार करना है।

अनुसंधान एवं विकास निष्पादन संकेतक, प्रौद्योगिकी लाइसेंसिंग और पेटेंटिंग

वर्ष के दौरान, एनएएल ने तीन उद्योगों को लगभग 1.85 करोड़ रुपये के संचयी लाइसेंस शुल्क के साथ तीन प्रौद्योगिकियों का लाइसेंस दिया। प्रमुख टीओटी में शामिल हैं: मल्टी-कॉप्टर ड्रोन, जलदोस्त और एलसीए-तेजस एमके1-1 के लिए कार्बन बीएमआई इंजन बे डोर। इस वर्ष, सीएसआईआर-एनएएल को टीओटी भागीदारों से 7.89 करोड़ रुपये का लाइसेंस शुल्क और रॉयल्टी मिली है। सीएसआईआर-एनएएल को अब तक 12 उड़ान प्रशिक्षण संगठनों से 114 हंसा-3 एनजी विमानों के लिए आशय पत्र प्राप्त हुए हैं। 12 उद्योगों ने सीएसआईआर-एनएएल को ईओआई दस्तावेज प्रस्तुत करने में सक्षम बनाने के लिए तकनीकी जानकारी प्राप्त करने के लिए एनएएल के साथ एनडीए पर हस्ताक्षर हुए। इस वर्ष, प्रयोगशाला के लिए सीएसआईआर द्वारा कुल 270.404 करोड़ रुपये का सीएसआईआर अनुदान (125.20 करोड़ रुपये के केंद्रीय प्रशासन अनुदान को छोड़कर) आवंटित किया गया । सीएसआईआर के कुल अनुदान में से, अनुसंधान एवं विकास परियोजनाओं के लिए आबंटन 46.568 करोड़ रुपये रहें, जो सारस एमके II, टीडी-हाई एल्टीट्यूड प्लेटफॉर्म (एचएपी), प्रमुख प्रयोगशाला परियोजनाओं (एमएलपी), फोकस्ड बेस्ड रिसर्च (एफबीआर) विशेष क्षेत्र क्रिएशन परियोजनाओं (एनसीपी), फास्ट ट्रैक ट्रांसलेशनल (एफटीटी) और फास्ट ट्रैक व्यावसायीकरण (एफटीसी) परियोजनाओं के तहत रहें। सीएसआईआर-एनएएल को वित्तीय वर्ष 2024-25 के दौरान बाहरी एजेंसियों से 55.73 करोड़ रुपए की लागत की 27 नई प्रायोजित परियोजनाएं, 84.23 करोड़ रुपए लागत की 12 अनुदान सहायता परियोजनाएं प्रदान की गईं।

सीएसआईआर-एनएएल टीम की उल्लेखनीय उपलब्धियों पर मुझे बहुत गर्व है। उनका नवाचार, तन्यकता और अटूट प्रतिबद्धता 85 जर्नल प्रकाशनों, 115 सम्मेलन लेख, 9 पेटेंट (6 फाइलड + 3 स्वीकृत), 2 कॉपीराइट और 1 ट्रेडमार्क में उनके योगदान से स्पष्ट होता है। सीएसआईआर-एनएएल ने 2024-25 के दौरान एसीएसआईआर की सराहनीय उपलब्धियाँ भी देखीं। इस वर्ष के दौरान, इंजीनियरिंग विज्ञान के अंतर्गत 13 छात्र और भौतिक विज्ञान के अंतर्गत 3 छात्र पीएचडी कार्यक्रम में शामिल हुए। छह छात्रों को एसीएसआईआर से पीएचडी की डिग्री प्रदान की गई।

सम्मान और पुरस्कार

सम्मान और पुरस्कार में, प्रयोगशाला के लिए वर्ष 2024-25 उत्साहजनक रहा। प्रमुख उपलब्धियाँ इस प्रकार हैं:

- सीएसआईआर-एनएएल को 19 नवंबर 2024 को 'वुमेन इन स्टेम' की उत्कृष्टता के लिए सी आई आई पुरस्कार प्राप्त हुआ।
- डॉ. एच.सी. बड़शिलिया को इंस्टीट्यूशन ऑफ इंजीनियर्स (इंडिया), 2025 का फेलो चुना गया।

- डॉ. एच. सी. बड़शिलिया को एप्लाइड प्लाज़्मा साइंस एंड इंजीनियरिंग (एजेसी-एपीएसई) के लिए एशियाई संयुक्त समिति : 2025 का सदस्य चुना गया।
- डॉ. एच.सी. बड़शिलिया को इंडियन सोसाइटी ऑफ़ एनालिटिकल साइंटिस्ट्स, 2024 से डॉ. सुंदरेसन पुरस्कार-2024 मिला।
- डॉ. हेमा सिंह को आईआईटी बीएचयू, वाराणसी से 2024-25 के लिए अनुसंधान और नवाचार में विशिष्ट पूर्व छात्र पुरस्कार मिला।
- डॉ. एस. सेंथिल कुमार को सीएसआईआर रामन रिसर्च फेलोशिप-2024 मिली।
- डॉ. एस. सेंथिल कुमार को 28 नवंबर 2024 को इंडियन सिरेमिक सोसाइटी, सीईआरए4एस 2024, आईआईटी मद्रास से डॉ. बीवीएस सुब्बा राव मेमोरियल अवार्ड-2024 प्राप्त हुआ।
- डॉ. एस. टी. अरुणा को 21 फरवरी 2025 को इंडियन थर्मल स्प्रे एसोसिएशन, नेशनल थर्मल स्प्रे कॉन्फ्रेंस (एनटीएससी -2025), सीएसआईआर-आई एम एम टी, से नेशनल थर्मल स्प्रे एक्सीलेंस अवार्ड-2025 प्राप्त हुआ।
- डॉ. एस. टी. अरुणा को "ट्रांजेक्शन ऑफ इंडियन सिरेमिक सोसाइटी", टेलर एंड फ्रांसिस के संपादकीय बोर्ड के सदस्य के रूप में चुना गया।
- डॉ. शिव सुब्बा राव को 14 सितंबर 2024 को द इंस्टीट्यूशन ऑफ इलेक्ट्रॉनिक्स एंड टेलीकम्युनिकेशन इंजीनियर्स (आई ई टी ई), आई ई एस यूनिवर्सिटी, भोपाल से IETE-Flt. Lt. तन्मया सिंह दंडस मेमोरियल अवार्ड (2024) मिला। ।

इसके अलावा, हमारी प्रयोगशाला के कई वैज्ञानिकों ने फेलोशिप के रूप में कई पुरस्कार प्राप्त किए हैं, विषय विशेषज्ञ के रूप में अपनी पहचान बनाई है, प्रतिष्ठित संघों/संस्थानों/अध्ययन बोर्डों में सदस्य, प्रोफेसर ऑफ प्रैक्टिस, अन्य व्यक्तिगत/समूह पुरस्कार जीते हैं, संपादकीय बोर्ड के सदस्य और राष्ट्रीय और अंतर्राष्ट्रीय पत्रिकाओं के समीक्षक के रूप में नियुक्त हुए हैं, सर्वश्रेष्ठ लेख पुरस्कार प्राप्त है। मैं उन सभी को उनकी सफलता पर बधाई देता हूं।

मैं अनुसंधान परिषद के सदस्यों, सीएसआईआर-एनएएल की प्रबंधन परिषद, डीजी-सीएसआईआर और सीएसआईआर मुख्यालय, नई दिल्ली के कर्मचारियों के समर्थन और सहयोग के लिए हृदयपूर्वक धन्यवाद देता हूं। मैं नीति आयोग के सदस्य डॉ. वी के सारस्वत को उनके मार्गदर्शन के लिए हृदय से धन्यवाद देता हूं।

मैं डीआरडीओ, इसरो, डीजीसीए, एडीए, एचएएल, एयर मुख्यालय, एआरडीबी, डीएसटी, आईएनआरएफ, डीएई, रक्षा सेवाएं, एमओईएस, आईएमडी, एमओसीए और अन्य जैसे हमारे विभिन्न हितधारकों से प्राप्त समर्थन को भी स्वीकार करता हूं, अंतर्राष्ट्रीय निकाय भी शामिल हैं, जिन्होंने हमारी क्षमताओं में अपना विश्वास बनाए रखा है और कई अ-वि परियोजनाओं को प्रायोजित किया है। प्रायोजक एजेंसियों के प्रयासों, सहयोग और हम पर रखे विश्वास के कारण सभी उपलब्धियां संभव हुई हैं।

निष्पादन लक्ष्यों को पार करने से लेकर एक सहयोगी और समावेशी कार्यस्थल संस्कृति को बढ़ावा देने तक, हमारी टीम द्वारा दिखाया गया समर्पण हमारी सफलता की आधारशिला है। मैं प्रत्येक कर्मचारी को अपनी हार्दिक प्रशंसा व्यक्त करता हूं, जिनके प्रयासों ने इस वर्ष को उत्कृष्ट बनाया है। हम उस भविष्य के बारे में उत्साहित हैं जिसे हम बना रहे हैं - निरंतर विकास, साझा सफलता और असीम संभावना। ऐसी प्रतिभाशाली और प्रेरणादायक टीम के साथ। मुझे विश्वास है कि आने वाला वर्ष और भी बड़ी उपलब्धियां लेकर आएगा।

अभय ए पशिलकर
निदेशक

Report of the Director

The year 2024-25 marked another significant step in CSIR-National Aerospace Laboratories (CSIR-NAL) journey to redefine the future of our aerospace Research and Development (R&D) activities, driven by advanced research, strategic partnerships and unwavering commitment to excellence. Further, CSIR-NAL remained vibrant as we witnessed visits of dignitaries like Hon. Vice President, Shri Jagdeep Dhankhar and Hon. Union Minister of Civil Aviation, Shri K Ram Mohan Naidu. These visits have given impetus to CSIR-NAL's in-house technologies and products for enabling the growth of the Indian Civil Aviation Sector. CSIR-NAL continued to achieve major milestones in the Civil Aviation R&D as well as supporting the India-centric programs of the Defence Research and Development Organization (DRDO) and Indian Space Research Organization (ISRO).

It gives me immense pleasure to present the Annual Report of CSIR-NAL for the year 2024-25, a testimony to the hard work and commitment of the CSIR-NAL team. Here is a compilation of the key achievements of CSIR-NAL for the year 2024-25. I thank the entire CSIR-NAL team for contributing to the magnificent leap that CSIR-NAL has made during the past year.

Major Highlights

During the year 2024-25, several significant achievements were made across multiple aerospace programs. Systems Engineering, Reliability Engineering, and Quality Assurance practices were deeply integrated into key programs like SARAS Mk II, Hansa-3(NG), and High-Altitude Pseudo Satellite (HAPS). To achieve Atmanirbhar Bharath in the aerospace domain, CSIR-NAL has submitted proposals to DSIR under the Aerospace Projects of National Importance (APNI) scheme with focus on indigenization. These projects were presented to the lab and were reviewed by the Research Council and by our mentor Dr. V K Saraswat, Member, NITI Aayog.

Under the Performance Appraisal Board (PAB) projects of the lab, HANSA-3(NG) aircraft completed its certification and made significant progress towards IFR certification using CS-23 Amendment-6. The licensing activities for Hansa-3(NG) were launched along with the Memorandum of Understanding (MoU) with industry partners. Hon`ble Minister of Civil Aviation (MoCA), Shri K Ram Mohan Naidu, visited CSIR-NAL on 28th October 2024. He unveiled the Hansa-3(NG) aircraft technical documents, such as Aircraft Flight Manual (AFM), Aircraft Maintenance & Repair Manual (AMRM), and Illustrated Parts Catalogue (IPC). This is a significant milestone in the program's journey, highlighting its national relevance.

The flagship PAB project, SARAS Mk II, made substantial progress in its environmental control, flight control, fuel, and power-plant systems. A 1:6 scale power-on wind tunnel test of SARAS Mk II was conducted at IISc Bengaluru, and a new iron bird test facility is getting ready. DGCA

approved the manufacturing of three SARAS Mk II prototypes, and re-certification to the AS9100D Quality Standard was achieved.

CSIR-NAL's work on HAPS represents a significant step forward in India's efforts to harness near-space technologies for national development. The flight testing of the HAPS technology demonstrator continued to provide valuable experience with the certified Autopilot hardware ecosystem that will eventually be used in the full-scale HAPS. The team is fully geared up for the development of the full-scale HAPS.

CSIR-NAL made an epoch-making contribution to the externally funded nation-centric programs of DRDO and ISRO. Aerodynamic testing was carried out for missile and combat aircraft configurations, including 1,957 blowdowns in 1.2 m and 0.6 m trisonic wind tunnels. Testing of the GSLV experimental vehicle model and the HLVM3 crew module was also completed. The successful design and testing of the aeroelastic model of the Gaganyaan launch vehicle further highlights the depth and breadth of CSIR-NAL's accomplishments.

CSIR-NAL's integration with nationally critical platforms such as Light Combat Aircraft (LCA), Advanced Medium Combat Aircraft (AMCA) and Twin Engine Deck-Based Fighter (TEDBF) underscores its strategic credibility in India's aerospace sector. High-level validation of CSIR-NAL's efforts came in the form of successful field demonstrations of CSIR-NAL's in-house technologies for national Defence forces like the BSF, and support provided to ISRO for the InSPACe satellite competition. Control laws and autopilot systems were completed for LCA Mk-I and Mk-IA, with ongoing work for Mk-II, AMCA, and TEDBF. Additional advancements were made in modeling and simulation for the development of an unmanned KIRAN platform. A Q-Plane (QUAD-UAV) prototype was demonstrated at the Bhuj border for the Border Security Force, showcasing domestic UAV capabilities.

CSIR-NAL's commitment is evidenced by the continued approvals obtained from CEMILAC, strategic evaluations by RCMA, and collaborative projects with DRDO and ISRO. CSIR-NAL facilitated 26 failure investigations, undertaking testing of private-sector micro-satellites, enabling their launch through SpaceX, and played a crucial role in fatigue life extension for key Indian military aviation assets like the LCA and AN-32. Additionally, its contributions to structural design and rigorous testing supported extended service life for aircraft, further solidifying CSIR-NAL's status as a nationally trusted aerospace research and development organization. The visibility measurement system DRISHTI saw 173 deployments across India.

Significant progress was made in the CSIR-Mission Mode Project on Aerospace Materials and Technologies. Many innovative materials, coatings and products were developed in this mission-mode project.
NAL received recognition from both CSIR Headquarters and NITI Aayog for its major contributions to civil aviation. The institute's commitment to quality and compliance was reaffirmed through the successful renewal of AS9100D certification. These aspects reflect growing institutional and sectoral acknowledgment of CSIR-NAL's technical competence.

Contributions to Civil Aviation

The year 2024-25 witnessed significant contributions of CSIR-NAL to the Indian Civil Aviation Sector. The projects related to this sector are mostly the flagship Performance Appraisal Board (PAB) projects of CSIR-NAL, like Hansa 3(NG), SARAS Mk II and RTA. All these projects made noteworthy progress during the year. Activities were initiated in the new frontiers of Urban Air Mobility. The following are the highlights of the different projects of CSIR-NAL:

Hansa-3(NG)

The Hansa-3(NG) aircraft program marked significant milestones during the period. Certification of the aircraft was successfully completed, and the IFR certification program was approved and is under discussion with the DGCA. Manufacturing of the first production-standard aircraft

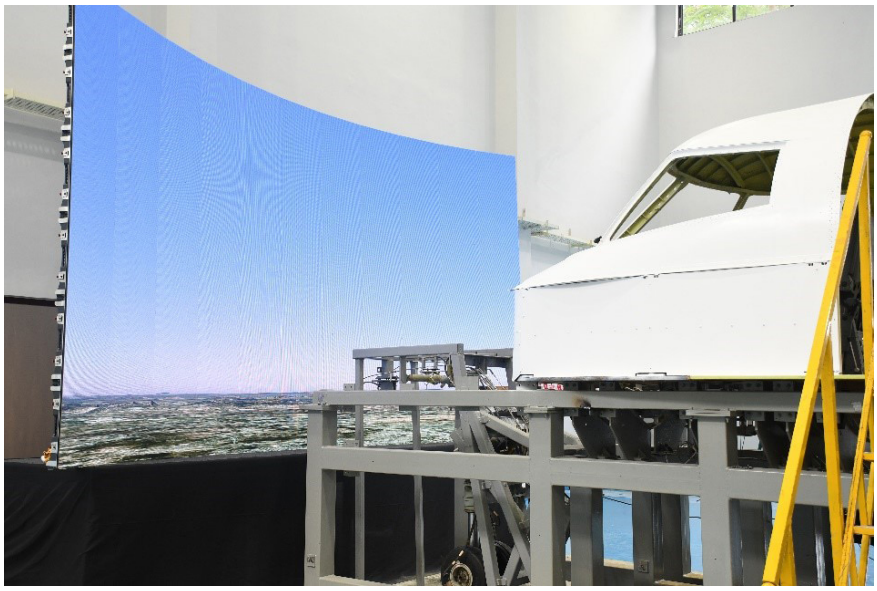
Honorable Vice President's visit to CSIR-NAL on 27th May 2024.

(MSN 015) commenced, with the airframe and key structural elements have been fabricated. The assembly and integration are underway. To support operational readiness, essential manuals such as the Illustrated Parts Catalogue (IPC), Aircraft Flight Manual (AFM), and Aircraft Maintenance and Repair Manual (AMRM) were prepared in accordance with ATA100/iSpec2200 standards. These manuals were released by the Hon`ble Minister of Civil Aviation, Shri. K. Ram Mohan Naidu on 28th October 2024. A very good response was received from industries against the CSIR-NAL`s Expression of Interest (EoI). An industry meet was conducted at CSIR-NAL on 29th October 2024, which was attended by prospective industry firms who had shown interest in Hansa-3(NG) aircraft manufacturing ToT based on the EoI floated by CSIR-NAL in July 2024. A

Honorable Minister of Civil Aviation`s visit to CSIR-NAL on 28th Oct 2024.

Hansa-3(NG) networking meet for business opportunities held on 29th Oct 2024.

strategic MoU will be signed with M/s Pioneer Clean Amps Pvt. Ltd. for out-licensing and commercialization of the aircraft. More than 225 sheet metal parts, along with associated jigs and assemblies, were manufactured for Hansa-3(NG) during the year. CSIR-NAL continued the development of avionics, electrical systems, and flight test instrumentation ensured compliance with IFR certification requirements. The project also saw the successful integration and testing of custom LED lighting systems developed in collaboration with CSIR-CSIO. Field testing of the advanced telemetry and data visualization system X-DAAS was carried out effectively. Additionally, a fatigue load spectrum was developed to support upcoming full-scale fatigue testing, further enhancing the aircraft's development trajectory.

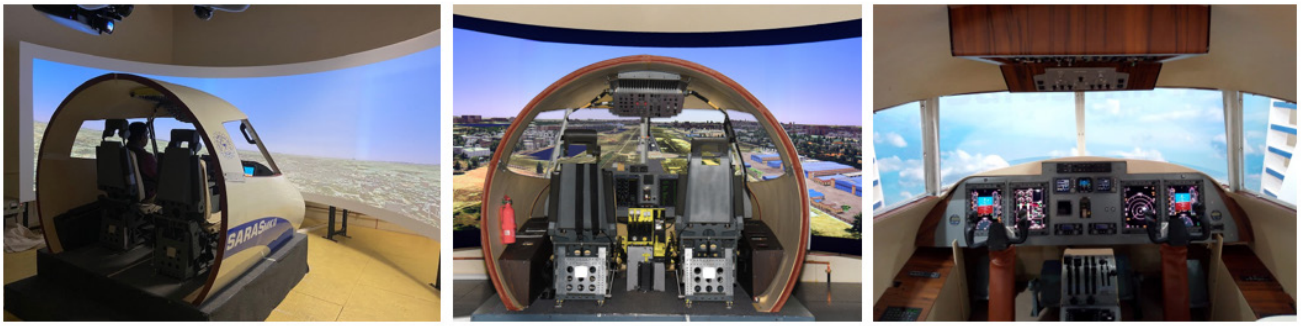


SARAS Mk II Iron Bird Structure assembly.

SARAS Mk II

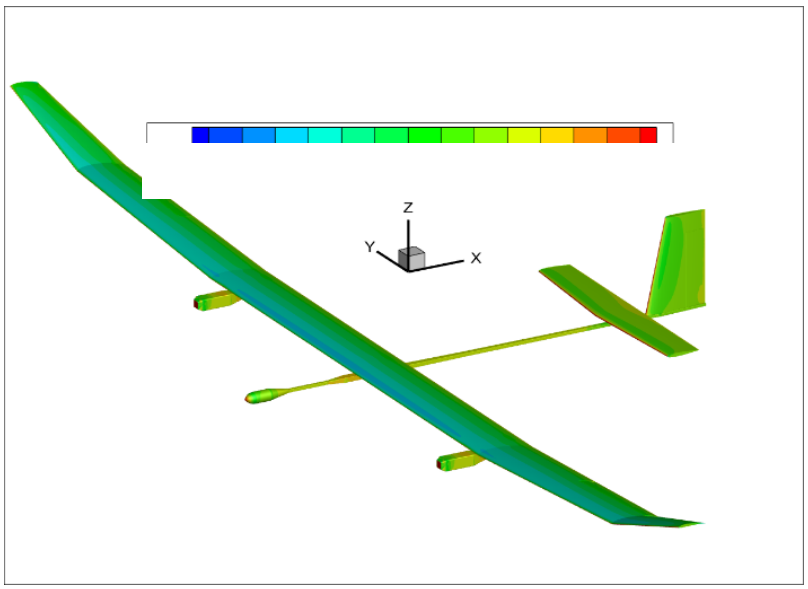
The SARAS Mk II program achieved several key developmental milestones during the year. CDRs were completed for nine major sub-domains, including systems such as the empennage, radome, brakes, and cabin door systems (passenger, cargo, and emergency) ensuring design maturity and integration readiness. The CDR for Avionics and Electrical Systems was also successfully concluded. Concurrently, major system developments progressed, including the Integrated Avionics Flight Control Computer (IAFCC), Stall Warning and Protection System, Brake Management System, and a custom thermal-insulating paint, which received approval from CEMILAC. A custom windshield heater featuring integrated safety and communication capabilities was developed as well.

In the area of Airworthiness, documentation such as the Airworthiness Certification Plan (ACP) and Type Approval Basis (TAB) were approved from both CEMILAC and the DGCA. An agreement was signed with DGCA for the manufacture of three prototypes. Subsequently, over 50 airworthy sheet metal parts were fabricated. Structural integration was advanced with Finite Element Method (FEM)-based load distribution analysis, and mass and CG optimization along with reliability studies resulted in a projected weight reduction of approximately 200 kg. Additionally, extensive Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) and stress/frequency studies were carried out to ensure structural robustness and reliability.



SARAS Mk II simulator and Avionics Integration Test Rig (AITR).

Ground testing capabilities were enhanced through the setup of the Iron Bird facility for integrated testing. A total of 289 engine ground runs were conducted, including 100% torque testing. Wind tunnel evaluations included a successful test of a 1:6 scale powered model at IISc. The program also achieved successful integration of the Avionics Integration Test Rig (AITR) with primary and multifunctional flight displays. Further, a radome was designed to accommodate a new radar system. The year also witnessed the implementation of the Product Lifecycle Management (PLM) using Teamcenter to streamline the design and manufacturing workflows. A revised cost and time escalation proposal has been submitted to CSIR Headquarters. The prototype of the control wheel has been fabricated and an ergonomic assessment has been completed. Functional assessments are in progress.

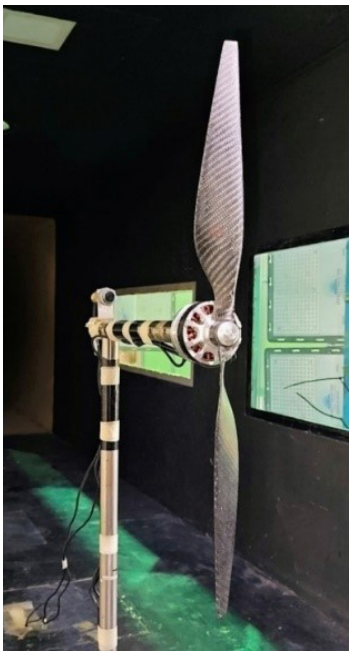


C_p contours over HAP FS configuration.

High Altitude Pseudo Satellite (HAPS)

The HAPS project saw substantial progress across multiple technical domains. Tools required for the project were successfully manufactured, and precision component fabrication was carried out through CAM programming and CNC machining. Significant contributions were made in the areas of modeling and simulation, aerodynamic characterization, and control law development, laying a strong foundation for the platform's design and stability. The mass and center of gravity (CG) were accurately established to ensure balanced flight performance. A full-scale wing was designed and structurally analyzed under 2g loading conditions, with fluid-structure interaction studies providing further insight into its aerodynamic behavior. Additionally, the structural configurations of the fuselage and vertical tail were developed and refined, advancing the overall airframe design. The CFD simulations have been performed on HAP Full Scale (FS) ver-0.2 at different Reynolds numbers corresponding to various flight conditions. The aerodynamic efficiency (L/D) is within the acceptable limits and matches well with the data in the open literature for this class of vehicles.

Before embarking on the development of the high-efficiency propellers for full-scale HAP, an attempt was made to replace the existing COTS propellers of the HAP sub-scale with in-house designed propellers. The results show that the efficiency and thrust levels achieved with the fabricated propellers compare well with those achieved with the BEMT code, providing enough confidence to adopt the code for the development of the propellers for the full scale.



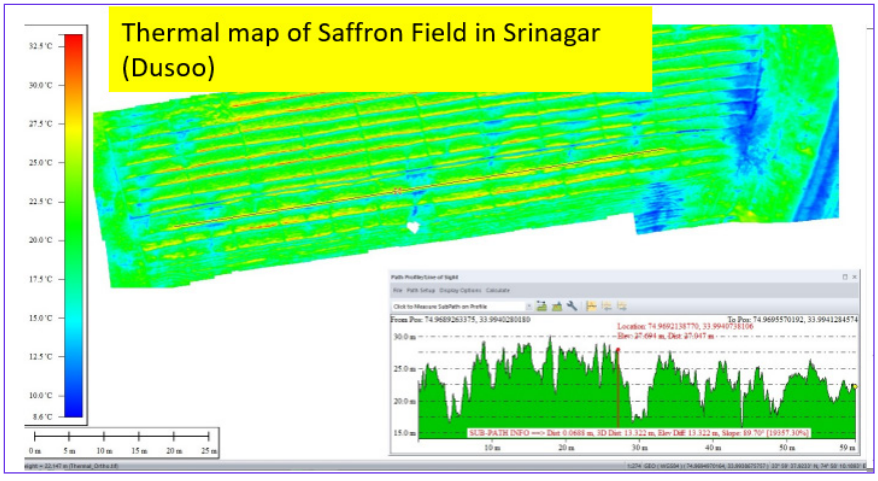
Experimental setup of the propeller testing in 1.5 m LSWT.

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)

Significant advancements were achieved across various unmanned aerial vehicle (UAV) programs during the year. The Q-Plane (QUAD-UAV) was designed and successfully demonstrated in the field for the Border Security Force (BSF), with ongoing efforts focused on developing an engine-powered version of this platform. The Octa-60 UAV was deployed at the InSPACe event to release dummy satellites, showcasing its operational utility. Additionally, a UAV-based variable-rate pesticide sprayer was developed to support precision agriculture. Collaborative agro-technology missions with CSIR-4PI and CSIR-IIIM facilitated the acquisition of multispectral, hyperspectral, and LiDAR imagery, further expanding UAV applications in the agricultural domain. CSIR NAL has floated Request for Proposal (RFP) for the development of Loitering Munition (LM) UAV to engage a Technology cum Investment partner. About 21 firms have submitted their bid and expressed their willingness to invest and work in a collaboration mode with NAL. NAL's Technical Evaluation Committee has shortlisted 8 firms out of the 21 firms. The project team is also working on finalizing the aerodynamic configuration of the LM UAV and carrying out Wankel engine performance tests at 2.2-2.4 km altitude.

Regional Transport Aircraft (RTA)

Wind tunnel testing of the RTA configuration was conducted at IIT-Kanpur, providing valuable aerodynamic data. Concurrent studies on superhydrophobic coatings and Boundary Layer Trips (BLT) contributed to advancements in surface technology and flow control during these wind tunnel studies. All project documentation has been systematically archived within CSIR-NAL's Product Lifecycle Management (PLM) framework, Teamcenter, ensuring efficient record-keeping and future reference. Additionally, a Detailed Project Report (DPR) was submitted under the Department of Scientific and Industrial Research's (DSIR) APNI scheme to support the development of future civil transport aircraft systems for this class of aircraft.



Thermal map of Saffron field in Srinagar (Dusoo) generated using UAV.

Urban Air Mobility (UAM)

To stay abreast with the advancing next-generation urban mobility solutions, CSIR-NAL has initiated the research and design efforts for the development of the Urban Air Taxi (UAT) and Unified Airspace Management (UAM) systems. To strengthen collaboration and accelerate progress in these areas, Memoranda of Understanding (MoUs) were signed with Tata Elxsi, Ubifly, and Bharat Electronics Limited (BEL) for establishing strategic partnerships for joint development and integration of technologies supporting UAT and UAM initiatives.

Contributions to Strategic Sector

Continuing the tradition, CSIR-NAL continued its perennial support to the strategic sector during the year 2024-25. Many critical contributions were made to various defence programs of the DRDO. The following are the highlights of these Projects.

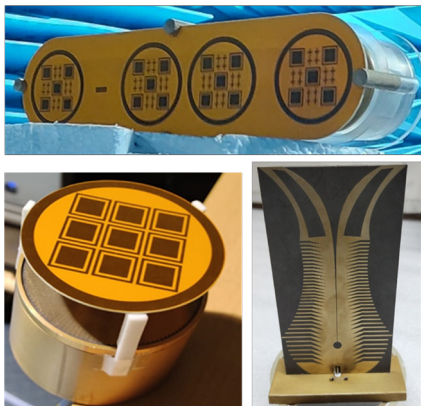
During the period, numerous external projects were executed for DRDO, encompassing tool and component manufacturing as well as post-production support. Fabrication and inspection of wind tunnel models were completed for strategic platforms such as the LCA and FUFA. A total

of 1,957 blowdowns were conducted in the trisonic wind tunnels for missiles, launch vehicles and combat aircraft configurations for ISRO, DRDO and ADA. Aerodynamic studies addressed control surface effectiveness, hinge moment measurements, and the impact of store integrations. Collaborative development of carbon-fiber/silicon carbide (C_f/SiC) components—such as cowl plates, fence plates, and nose tips—for Long Range Hypersonic Vehicles (LRHV) progressed with DMRL, Hyderabad, while brake disk applications for fourth-generation aircraft were evaluated with RCI Hyderabad. Failure analysis was completed for 26 aerospace and defense incidents.

CSIR-NAL continued its support to DRDO and Defence Public Sector Undertakings (DPSUs) for control law development and simulations for a range of aircraft, including LCA Mk-I, Mk-IA, Mk-II, Trainer, AMCA, and TEDBF, along with work on auto-throttle systems, Synthetic Vision Systems, and pilot-in-loop simulations. The Distributed Engineer-in-Loop Simulator (DELS) was utilized extensively for combat aircraft evaluation. The development of the Airborne Infrared Search & Track System was carried out in partnership with IRDE, DRDO, and radome development for LCA AF Mk-II and AMCA integrated lightning protection features. Research and development activities included advanced stealth systems, low-RCS antennas, and active Radar Cross-Section Reduction (RCSR) technologies, with initial work beginning on Terahertz antennas for high-speed aerospace communications. The modeling and control work has also been initiated on rotorcraft platforms.

Photograph of a typical missile configuration model mounted in the 1.2 m tunnel.

The Future Unmanned Fighter Aircraft (FUFA) hinge moment calibration setup, along with associated wind tunnel models, were completed, providing critical data for aerodynamic analysis. System identification and control algorithm development progressed for the unmanned KIRAN aircraft, enhancing its flight capabilities. Under DRDO-sponsored UAV programs, sophisticated algorithms and hardware were developed for multi-target tracking systems integrating Infrared Search and Track (IRST), Missile Approach Warning System (MAWS), Radar Warning Receiver (RWR), and radar technologies.

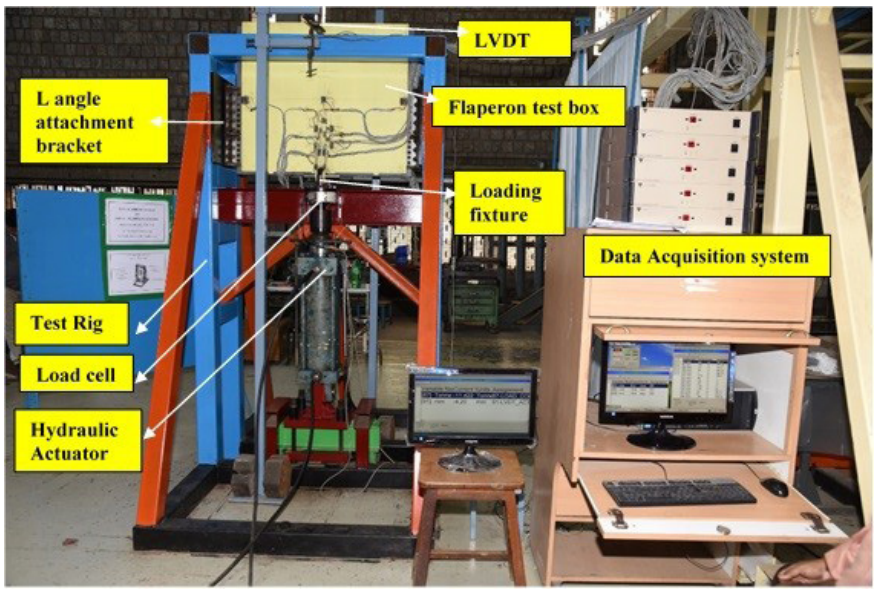


Prototypes of low RCS electronic warfare (EW) antennas (1-18 GHz) .

LCA AF Mk II quartz radome.

A project on Jaguar aircraft DARIN-III simulator development from HAL/ Airforce was undertaken by CSIR-NAL. The CTFD team has provided aerodynamic data for close to 200 configurations of the Jaguar aircraft. Innovative use of CFD has been done to generate the extensive aerodynamic database in the shortest possible time.

Wind tunnel tests were conducted on a scale down model of a typical missile configuration in CSIR-NAL 1.2 m tunnel for aerodynamic characterization in the Mach



Complete Static Strength Test setup of AMCA Flaperon test box assembly.

Number range of 0.6 to 1.2 and in the angle of attack range of -8° to 22° at a few discrete roll orientations.

Progress was also made in stealth, radome, and electromagnetic signature control technologies. CSIR-NAL has developed low RCS electronic warfare (EW) antennas like spiral antennas and Vivaldi antennas.

Notable composite material advancements included the development of a full-scale LCA radome using quartz–cyanate ester composites and a composite bypass duct fabricated from high-temperature polyimide composites. Co-curing technology was applied for LCA center fuselage composite components. A fatigue life test rig was developed for the LCA SP Trainer's In-Flight Refueling (IFR) probe, and fatigue testing on the AN-32 main landing gear hub extended its operational life for an additional 1,000 landings. Advanced instrumentation techniques, such as 3D Digital Image Correlation were employed for bird strike tests on AMCA components, while the flaperon test box for AMCA successfully completed design qualification, underscoring the comprehensive scope and technical depth of these aerospace initiatives.

The design and development of a 100 kgf thrust small gas turbine engine (NJ-100) was carried out by the Propulsion Division. The engine is aimed at powering Tactical UAVs and cruise missiles. The engine has been successfully tested for 100 % of the engine design

NJ-100 Small Gas Turbine Engine

speed. The NJ-5 engine was integrated into a model aircraft and flight tested.

Contributions to Special Materials and Coatings

Significant advancements were made across materials, coatings, and composite technologies to support current and future aerospace applications. In composite materials, carbon fiber development focused on enhancing intermediate modulus fibers through optimized polymerization, spinning, and oxidation. An indigenous C_f/Epoxy prepreg was developed with improved fracture toughness and hot-wet performance, and successfully scaled using a new Double Planetary Mixer. The

UD carbon fiber prepreg machine

C_f/C-SiC composite disks after D-o-D test

Photograph of melted $Ni_{50}Ti_{30}Hf_{20}$ high-temperature shape memory alloy pancake

Photograph of developed LTCC-PZT packaged accelerometer prototype

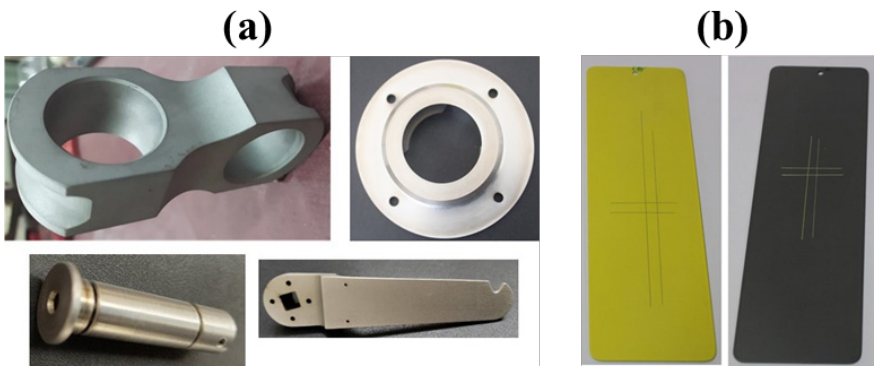
scaled-up resin was evaluated and made into unidirectional carbon fiber prepreg with the industry partner.

Research was initiated on the development of Nickel-Titanium-Hafnium (Ni-Ti-Hf) High Temperature Shape Memory Alloys (HTSMAs) exhibiting low thermal hysteresis useful for various high temperature actuation applications. Alloys of nominal composition $Ni_{50}Ti_{30}Hf_{20}$ and $Ni_{24}Ti_{30}Hf_{20}Cu_6$ (all in at %) were successfully prepared on a 450 g scale batch by using the vacuum arc-melting process. Substantial work has been carried out on the creep behaviour study of IN718 superalloy after post-weld heat treatment (PWHT) for its application in the Combustion Chamber Outer Casing (CCOC) of gas turbine engine.

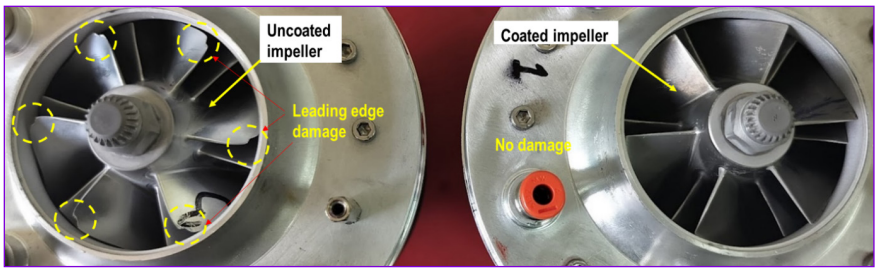
CSIR-NAL has been engaged in the development of carbon fiber and C_f/SiC composites over the past 2 decades and considerable work has been carried out on the indigenous development of C_f/C-SiC ceramic matrix composites (CMCs) for aircraft brake disk, long-range hypersonic vehicles, and other high-temperature applications. The hybrid process of CVI and Liquid Silicon Infiltration (LSI) was employed for making C_f/C-SiC composites with reduced manufacturing time/costs (40-50%) and their baseline properties were evaluated. C_f/SiC composites were produced via a hybrid CVI+LSI process for use in aircraft brake disks and hypersonic vehicles, while Ceramic Matrix Composites (CMCs) were developed for brake and radome applications. Porous and functionally graded silicon nitride radome materials were developed for 2-23 GHz broadband applications. Recently, CSIR-NAL has signed a non-disclosure agreement with BEL for the joint development of silicon nitride radome.

Some of the highlights of the mission mode project on aerospace materials are noteworthy. Low-Temperature Co-fired Ceramics (LTCC) based PZT accelerometer was developed in collaboration with CSIR-CEERI, Pilani. The performance of the developed prototype was found to be promising. A three-layered, chromate-free, eco-friendly coating system has been developed and tested its performance for a series of tests. The certification process is now underway, with the Qualification Test Schedule (QTS) prepared in consultation with RCMA (F&F) and RCMA-Kanpur.

A multi-layered TiCr/TiCrN erosion–corrosion resistant coating was developed and deposited on a compressor impeller made of Al-7075. The performance of the coating was successfully tested in the small gas turbine (NJ5-PT04) engine rotating at a speed of ~95000 to 100,000 rpm and by passing the coarse alumina erodent particles into the compressor. The coated impeller did not undergo erosion vis-à-vis an uncoated impeller. Low thermal



Zn-Ni plated complex components

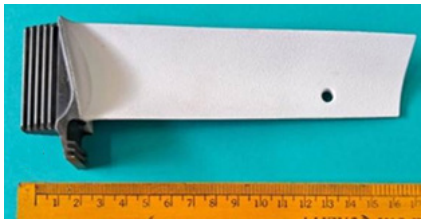


NJ5-PT04 engines with and without erosion-resistant coatings on compressor impellers after the test

conductivity oxides such as doped YSZ, Yb_2O_3 doped $Gd_2Zr_2O_7$ (GdYbZ) and $La_2Zr_2O_7$ based thermal barrier coatings (TBC) were developed and the doped YSZ plasma sprayed TBC exhibited lower thermal conductivity, lower erosion rate, higher temperature drop and thermal cycles compared to the commercial YSZ coating. A robust and durable self-cleaning polyurethane-based superhydrophobic (SH) coating was prepared using synthesized silica nanoparticles. These coatings exhibited better durability (>200 h of accelerated weathering test, 16 de-icing cycles and withstood 15 days of water immersion) compared to the coating containing commercial silica nanoparticles.

A few components of Hansa-3(NG) have been anodized using an eco-friendly anodizing process and these components will be integrated in the next production standard aircraft. The trivalent chrome passivated Zn-Ni plated NCM steel specimen has qualified for nearly 2000 hours of outdoor exposure to sea environment at Mandapam, Rameshwaram. The process shall be demonstrated shortly on LCA components for Type approval by RCMA, F & F. The CSIR-NAL team has completed the hand-holding to M/s Supreme Solar Pvt. Ltd. for the NALSUN-NG™ technology. For the first time in the country, CSIR-NAL has fabricated Spintronic-based Magnetic Tunnel Junction (MTJ) for TMR sensor. The sensitivity of the magnetic sensor was found to be 800 mV/V/Oe at 220 % TMR, and has potential futuristic industrial applications towards current sensors.

CSIR-NAL has taken new initiatives in niche areas like eco-friendly process for adhesive bonding applications,



Thermal barrier coating developed using in-house synthesized doped YSZ powder

high temperature thermal insulating paint, low-density conductive paints and passive daytime radiative cooling (PDRC) coating. CSIR-NAL has developed scandia stabilized zirconia electrolyte supported solid oxide fuel cell and tested it successfully.

Contributions to Space

Unsteady pressure measurements were carried out on a scaled HLVM3 configuration in the CSIR-NAL 1.2 m wind tunnel. A good comparison of data was observed between the Mach sweep and the discrete Mach number mode. The significant effect of major protrusions was reported. Wind tunnel studies were carried out to generate aerodynamic data on a scaled model of the Test Vehicle Crew Escape System (TV-CES) spent stage configuration.

The C32 Inter-Stage Configuration, a critical structural element of the LVM3 launch vehicle underwent detailed acoustic qualification at the Acoustic Test Facility (ATF). CSIR-NAL conducted acoustic tests for the Human-Rated Launch Vehicle (HLVM3), developed for the Gaganyaan mission to characterize the internal noise environment and evaluate the vibration

response of key electronic packages under launch-like acoustic loads.

As part of the GSLV-F15 and F16 flight acceptance process, ATF carried out acoustic qualification of the four L40 strap-on nosecone avionics decks used in the GSLV missions.

HLVM3 equipment bay in acoustic chamber.

Contributions to the Societal Sector

Apart from contributing to the Civil aviation sector and Strategic sector, CSIR-NAL continued to contribute to the societal sector with its spin-off technologies and know-how. The 12-ft Jal-Dost project has significantly evolved into a 40-ft floating earthmover, now achieving Technology Readiness Level 9 (TRL-9), indicating its readiness for full deployment and operational use. It was used by the Bruhat Bengaluru Mahanagara Palike (BBMP) for cleaning the lakes across Bengaluru. Further CSIR-NAL developed Quadcopter was used for precision agriculture in Srinagar.

Artificial Intelligence and Machine Learning (AI/ML) techniques have been applied to enhance nowcasting models, aiming to improve forecasting accuracy for both the aviation and renewable energy sectors.

R&D Performance Indicators, Technology Licensing & Patenting

During the year, NAL licensed three technologies to three industries with a cumulative license fee of about Rs 1.85 Crores. The major ToTs include: Multi-copter drones, JALDOST and carbon BMI engine bay door for LCA-TEJAS Mk1-1. This year, CSIR-NAL has received a license fee and royalty of Rs. 7.89 crores from the ToT partners. CSIR-NAL has so far received letters of intent for 114 Hansa-3(NG) aircraft from 12 Flight Training Organizations. 12 industries have signed the NDA with NAL for obtaining technical information to enable them to submit EoI documents to CSIR-NAL.

This year, a total of Rs. 270.404 crores CSIR grant (excluding central administration grant of Rs. 125.20 crores) was allocated by CSIR for the laboratory. Out of the CSIR total grant, allocation towards R&D projects was Rs. 46.568 crores for projects under SARAS MK II, TD-High Altitude Platform (HAP), Major Laboratory Projects (MLP), Focused Based Research (FBR) Niche Creation Projects (NCP), Fast Track Translational (FTT) and Fast Track Commercialization (FTC) projects. CSIR-NAL was awarded 27 new sponsored projects costing Rs. 55.73 crores, 12 grant-in-aid projects costing Rs. 84.23 crores during the financial year 2024-25 from external agencies.

I take immense pride in the remarkable achievements of the team CSIR-NAL. Their innovation, resilience, and unwavering commitment are evident from their contributions to global scientific literature and intellectual property rights with 85 journal publications, 115 conference papers, 9 patents (6 filed + 3 granted), 2 copyrights and 1 trademark.

CSIR-NAL also witnessed commendable AcSIR achievements during 2024-25. During the year, 13 candidates under Engineering Science and 3 students under Physical Sciences have joined for Ph.D program. Six students were awarded the Ph.D degree from AcSIR and two staff awarded Ph.D from NIT and IIT.

Honors and Awards

On the honors and awards front, the year 2024-25 was exhilarating for the laboratory. The major achievements are:

- CSIR-NAL received the

CII Awards for Excellence in Women in STEM on 19 November 2024.

- Dr. H.C. Barshilia has been elected as a Fellow of The Institution of Engineers (INDIA), 2025.
- Dr. H.C. Barshilia has been elected as a member of the Asian Joint Committee for Applied Plasma Science and Engineering (AJC-APSE), 2025.
- Dr. H.C. Barshilia received Dr. Sundaresan Award-2024 from the Indian Society of Analytical Scientists, 2024.
- Dr. Hema Singh received the Distinguished Alumnus Award in Research and Innovation for 2024-25 from IIT BHU, Varanasi.
- Dr. S. Senthil Kumar received the CSIR Raman Research Fellowship-2024.
- Dr. S. Senthil Kumar received Dr. BVS Subba Rao Memorial Award-2024 from The Indian Ceramic Society, CERA4S 2024, IIT Madras, 28 November 2024.
- Dr. S. T. Aruna received the National Thermal Spray Excellence Award-2025 from the Indian Thermal Spray Association, The National Thermal Spray Conference (NTSC-2025), CSIR-IMMT, 21 Feb 2025.
- Dr. S.T. Aruna has been selected as the Editorial Board Member of "Transactions of Indian Ceramic Society", Taylor & Francis.
- Dr. Siva Subba Rao received the IETE–Flt. Lt. Tanmaya Singh Dandass Memorial Award (2024) from The Institution of Electronics and Telecommunication Engineers (IETE), IES University, Bhopal, on 14 September 2024.

In addition, many scientists in our laboratory have received several accolades in the form of fellowships, identified as subject experts, members in prestigious societies/institutes/ Boards of studies, Professors of Practice, won other individual/ group awards, appointed as editorial board members and reviewers of national and international journals, received best paper award, etc. I congratulate all of them on their success.

I sincerely thank the support and cooperation of members of the Research Council, Management Council of CSIR-NAL, DG-CSIR and staff of CSIR Headquarters, New Delhi. I sincerely thank Dr. VK Saraswat, Member, NITI Aayog, for his mentorship.

I also acknowledge the support received from our various stakeholders like DRDO, ISRO, DGCA, ADA, HAL, Air HQ, ARDB, DST, INRF, DAE, Defence Services, MoES, IMD, MoCA and others, including international bodies for continuing to repose their faith in our capabilities and by sponsoring several R&D projects. All the achievements have been made possible due to the efforts, cooperation and the confidence entrusted in us by the sponsoring agencies.

From surpassing performance targets to fostering a collaborative and inclusive workplace culture, the dedication shown by our team has been the cornerstone of our success. I extend my heartfelt appreciation to each employee whose efforts have made this year outstanding. Looking ahead, we are excited about the future we are building—one of continued growth, shared success, and endless possibilities. With such a talented and driven team, I am confident that the coming year will bring even greater accomplishments.

ABHAY A PASHILKAR
Director