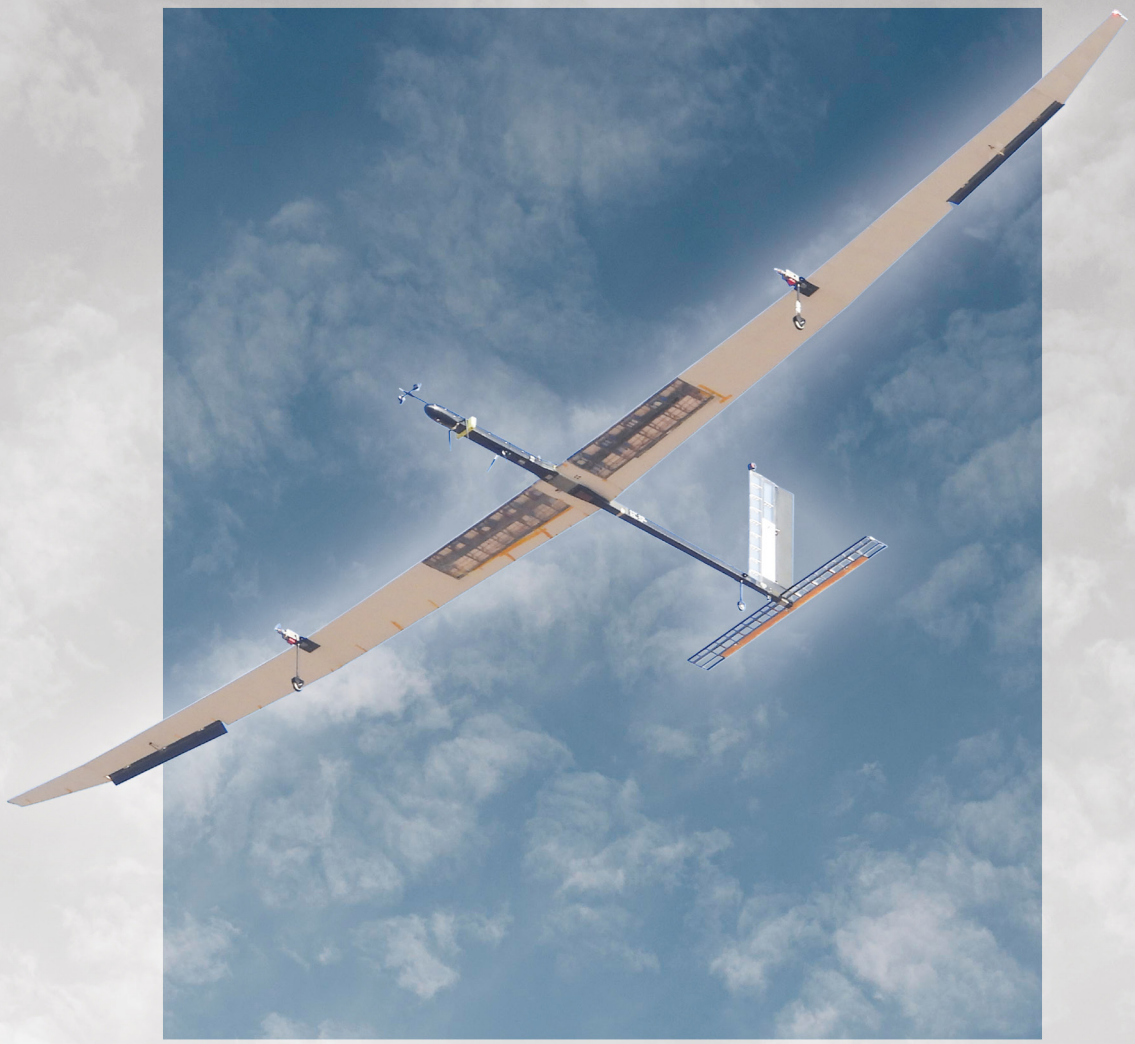
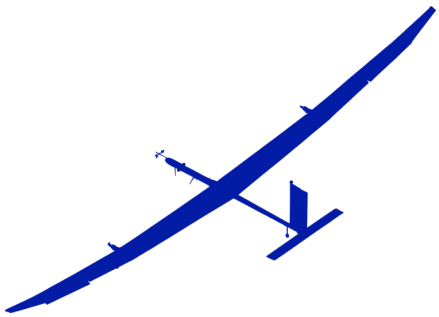
वार्षिक रिपोर्ट
Annual Report
2023-24



Council of Scientific and Industrial Research
National Aerospace Laboratories

CSIR-NAL

Front Cover



High Altitude Platform Sub Scale

Editorial Committee:
Dr. Aruna S T
Dr. Chandra N
Dr. De Manabendra Manindrakumar
Dr. Kurade Rajan Bharat

Lead Editor:
Dr. Harish C Barshilia

Production Editors:
Dr. VPS Naidu
Sangeetha A L

Photography:
A B S Vijai and Team

Graphs:
K Venkataramanan

Interleaf Design:
Adharsh M R
Swetha B

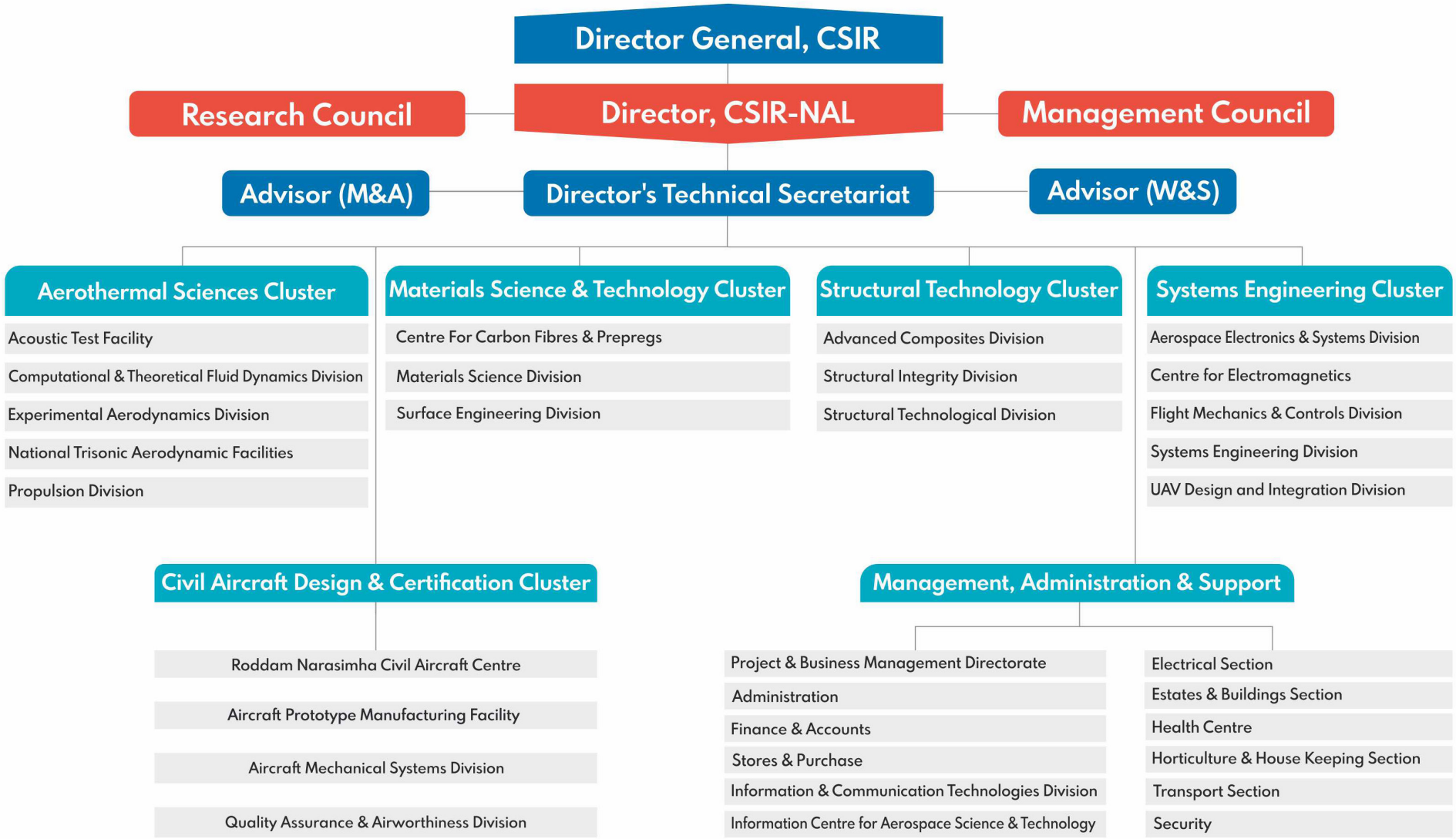
Coverpage Design:
Adharsh M R

वार्षिक रिपोर्ट
Annual Report
2023-24

Dr. Abhay A Pashilkar
Director
CSIR-National Aerospace Laboratories
PB 1779, HAL Airport Road, Bengaluru - 560 017
Tel: 080-25270584, 25086000
Email: director@nal.res.in, URL: www.nal.res.in

सीएसआईआर-राष्ट्रीय वांतरिक्ष प्रयोगशालाएं
CSIR-National Aerospace Laboratories

Organization Chart



Contents

Report of the Director

निदेशक की रिपोर्ट R1
Mission and Mandate R27
Research Council R28
Management Council, Major R&D Discipline & Collaborations and Interactions R29
S&T Performance Indicators R30
Human Resources Indicators R31
Financial Performance Indicators R32

Aero Thermal Sciences 1

Acoustic Test Facility 2
Computational and Theoretical Fluid Dynamics Division 6
Experimental Aerodynamics Division 13
National Trisonic Aerodynamic Facilities 19
Propulsion Division 24

Structural Technology 31

Advanced Composites Division 32
Structural Integrity Division 39
Structural Technological Division 44

Materials Sciences & Technology 57

Center for Carbon Fibers and Prepregs 58
Materials Science Division 60
Surface Engineering Division 67

Systems Engineering 75

Aerospace Electronics and Systems Division 76
Centre for Electromagnetics 80
Flight Mechanics & Control Division 85
Systems Engineering Division 96
UAV Design and Integration Division 101

Civil Aircraft Development 105

Aircraft Mechanical Systems 106
Aircraft Prototype Manufacturing Facility 111
High-Altitude Pseudo Satellite 114
Roddam Narasimha Civil Aircraft Centre 116
Quality Assurance and Airworthiness Division 122

Management and Support 126

Project & Business Management Directorate 127
Director's Technical Secretariat 137
Information Centre for Aerospace Science and Technologies 143
Information and Communication Technologies Division 144
Administration, Stores & Purchase, Finance and Accounts 147
Health Center, Estates & Building Unit, Electrical Section Telephones and Transport Section 149

Research outcomes and Recognitions 154

Publications in Journals and Books 155
Presentations in Conferences 161
IP Portfolio 171
Awards, Honours, Deputations and Distinctions 173

Glimpses of Jigyasa Events at CSIR-NAL

Glimpses of One Week One Lab at CSIR-NAL

Glimpses of One Week One Lab at CSIR-NAL

निदेशक की रिपोर्ट

जैसा कि सीएसआईआर ने अपने उल्लेखनीय अनुसंधान परिणामों और उपलब्धियों का अनावरण करते हुए राष्ट्रव्यापी "एक सप्ताह एक प्रयोगशाला" कार्यक्रम का जश्न मनाया, सीएसआईआर-राष्ट्रीय वांतरिक्ष प्रयोगशालाएं (सीएसआईआर-एनएएल) ने वांतरिक्ष विज्ञान और प्रौद्योगिकी के क्षेत्र में अपने प्रभाव के साथ एक बेहतर भारत को आकार देने में अपने योगदान को जारी रखने के अलावा इस कार्यक्रम का सफलतापूर्वक संचालन किया। वर्ष 2023-24 के दौरान, सीएसआईआर-एनएएल ने अपने संस्थानिक ज्ञान आधार का विस्तार किया, कई प्रौद्योगिकियों का सफलतापूर्वक विकास और व्यावसायीकरण किया, नए स्टार्टअप का समर्थन किया और देश में मानव संसाधनों को मजबूत किया।

मुझे 31 मार्च 2024 को समाप्त होने वाले वर्ष के लिए सीएसआई-एनएएल की वार्षिक रिपोर्ट प्रस्तुत करते हुए खुशी हो रही है। यह विभिन्न अखिल भारतीय क्षेत्रों में विज्ञान और प्रौद्योगिकी के उत्थान की दिशा में हमारी प्रयोगशाला की प्रमुख उपलब्धियों का संकलन है। मैं इस वार्षिक रिपोर्ट को प्रकाशित करने के लिए पूरे सीएसआईआर-एनएएल परिवार की कड़ी मेहनत और समर्पण की प्रशंसा करता हूं।

महत्वपूर्ण गतिविधियां

वर्ष 2023-24 में हाई एल्टीट्यूड प्लेटफ़ॉर्म सबस्केल हैप-एसएस (HAP-SS) के सब-स्केल मॉडल ने सफ़ल उड़ान भरी जो सीएसआईआर-एनएएल टीम के ज्ञान एवं प्रतिबद्धताओं का प्रमाण है। सीएसआईआर-एनएएल की कुछ प्रमुख उपलब्धियों में क्षेत्रीय परिवहन वायुयान - परियोजना परिभाषा चरण को समय पर पूरा करना, सीएसआईआर स्थापना दिवस समारोह के दौरान सीएसआईआर-एनएएल को हंसा-3 (NG) का प्रमाण पत्र देना और **सारस** Mk II कार्यक्रम में महत्वपूर्ण प्रगति और निजी उद्योगों और सार्वजनिक क्षेत्र के उपक्रमों को कई टीओटी प्रदान करना शामिल हैं।

सीएसआईआर-एनएएल के अत्यंत प्रमुख कार्यक्रमों में सभी प्रौद्योगिकी बाधाओं को दूर करने के बाद, वर्तमान वर्ष में विभिन्न मंचों पर सीएसआईआर-एनएएल की स्वदेशी प्रौद्योगिकियों के प्रदर्शन को देखा गया। प्रमुख कार्यक्रम, जहाँ सीएसआईआर-एनएएल ने अपनी प्रौद्योगिकियों का प्रदर्शन किया, वे थे बेंगलुरू में आयोजित एक सप्ताह एक प्रयोगशाला कार्यक्रम, नई दिल्ली में आयोजित सीएसआईआर स्थापना दिवस समारोह, नई दिल्ली में आयोजित एयरोनॉटिकल सोसाइटी ऑफ इंडिया का अंतर्राष्ट्रीय सम्मेलन और हैदराबाद में आयोजित विंग्स इंडिया 2024. सीएसआईआर-एनएएल के स्टॉल पर कई गणमान्य व्यक्तियों ने दौरा किया। सभी आगंतुकों ने सीएसआईआर-एनएएल के भारत-केंद्रित प्रौद्योगिकी विकास प्रयासों की सराहना की। आगंतुकों में कुछ प्रमुख थे भारत के माननीय राष्ट्रपति, माननीय विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी मंत्री, प्रधानमंत्री के प्रधान वैज्ञानिक सलाहकार और सीएसआईआर के महानिदेशक।

सीएसआईआर स्थापना दिवस के दौरान 26 सितंबर, 2023 को DGCA द्वारा सीएसआईआर-एनएएल को टाइप प्रमाणपत्र सौंपना

सीएसआईआर-एनएएल के पैविलियन में सीएसआईआर के महानिदेशक के साथ भारत के माननीय राष्ट्रपति

सीएसआईआर के महानिदेशक के साथ माननीय विज्ञान और प्रौद्योगिकी मंत्री

सीएसआईआर के महानिदेशक के साथ प्रधानमंत्री के प्रधान वैज्ञानिक सलाहकार

नागर विमानन क्षेत्र में योगदान

नागर विमानन क्षेत्र में सीएसआईआर-एनएएल के प्रमुख कार्यक्रमों में उल्लेखनीय प्रगति हुई। इस वर्ष हंसा -3 (NG), सारस Mk II, क्षेत्रीय परिवहन वायुयान (RTA) और उच्च ऊंचाई वाले छद्म उपग्रह एचएपीएस (HAPS)कार्यक्रमों में ऐतिहासिक उपलब्धियां हासिल की गईं। सिस्टम-ऑफ-सिस्टम स्तर की प्रौद्योगिकी विकास के अलावा, प्रयोगशाला ने विमानन क्षेत्र के लिए महत्वपूर्ण संस्थानिक सक्षम प्रौद्योगिकियों को विकसित करने में भी महत्वपूर्ण सफलताएं हासिल कीं। इसके अलावा, सीएसआईआर-एनएएल ने अंतिम उपयोक्ताओं तक इन प्रयासों की पहुंच बढ़ाने के लिए विभिन्न राष्ट्रीय और अंतर्राष्ट्रीय आयोजनों में अपने उत्पादों, प्रक्रियाओं और प्रौद्योगिकी विकास संबंधी अनुसंधान कार्यों का प्रदर्शन भी किया। यह वर्ष 2023-24 के दौरान प्राप्त उपलब्धियों के बारे में एक विस्तृत जानकारी देता है।

हंसा-3 (NG)

सीएसआईआर-एनएएल ने हंसा-3 (NG) के लिए नेवकॉम प्रणाली के स्वदेशीकरण प्रयासों में असाधारण प्रगति की। क्रिटिकल अभिकल्पना रिव्यू (CDR) के आधार पर, नेवकॉम प्रोटो-2 को बनाया गया। सिस्टम विनिर्देश का प्रमाणन करने और सत्यापन करने के लिए पावर ऑन और सिस्टम परीक्षण प्रगति पर है। संरचनाओं के क्षेत्र में, अभिकल्पना अनुकूलन अध्ययन, समग्र एयरफ्रेम भागों का उत्पादन, संपूर्ण पैमाने पर एयरफ्रेम श्रांति परीक्षण और नोज़ लैंडिंग गियर स्थैतिक शक्ति परीक्षण किए गए। नोदन प्रभाग ने हंसा-3 (NG) के लिए एक स्वदेशी प्रोपेलर के विकास में महत्वपूर्ण भूमिका निभाया है। अभिकल्पना के उद्देश्य का पता लगाने के लिए अभिकल्पना किए गए प्रोपेलर का विस्तृत वायुगतिकी और यांत्रिक विश्लेषण पूरा किया गया। संविरचना विकसित किए गए और हब और पिच परिवर्तन यंत्रावली जैसे प्रोपेलर घटकों का विकास किया गया।

सारस Mk II

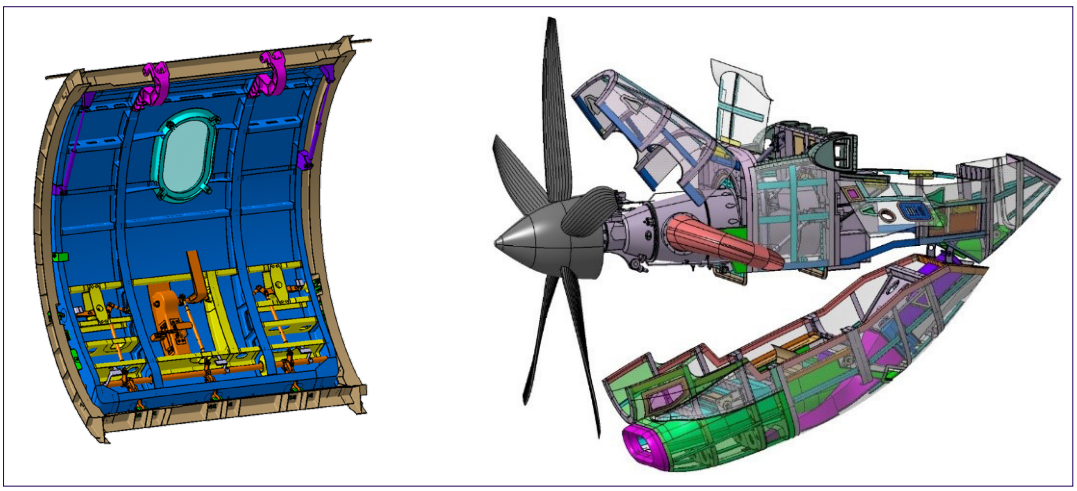
पंख, ऊर्ध्व पुछ , क्षैतिज पुछ और नियंत्रण सतह संरचनाओं का विस्तृत अभिकल्पना किया

हंसा-3 (NG) की स्वदेशी नेवकॉम इकाई

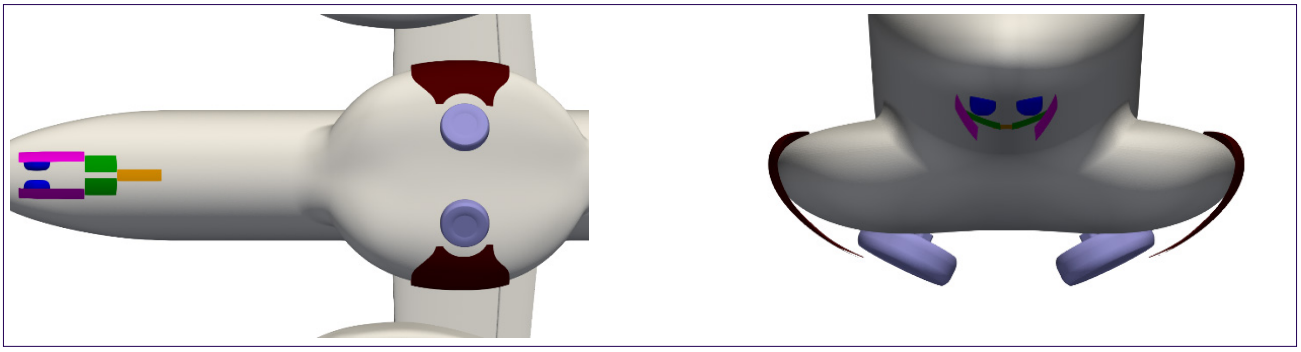
गया, जिसमें सबसे चुनौतीपूर्ण बाहरी उपकरण अभिकल्पना भी शामिल था। फ्यूसलिज और इंजन माउंट अभिकल्पना के लिए, कई प्रमुख गतिविधियाँ की गईं। Casevac, वीआईपी और कार्गो जैसी कई भूमिकाओं के लिए अतिरिक्त महत्वपूर्ण भार की गणना और फ्यूसलिज के संरचनात्मक विश्लेषण, केबिन दरवाजा, नैसेल और इंजन माउंट का अभिकल्पना और विश्लेषण पूरा किया गया। इंजन माउंट भार की गणना, श्रांति भार स्पेक्ट्रम की गणना, और इंजीनियरिंग सेवा प्रदाता के साथ फ्यूसलिज की विस्तृत अभिकल्पना गतिविधियों को पूरा किया गया। बिजली के झटके से सुरक्षा के लिए कार्बन फाइबर प्रबलित प्लास्टिक (सीएफआरपी) / कॉपर मेश मिश्रित सामग्री पर श्रांति परीक्षण किए गए।

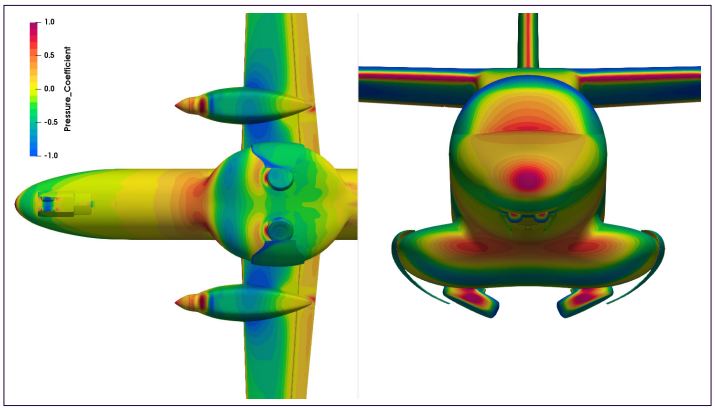
सारस Mk II, ट्रैक्टर संस्करण के नवीनतम न्यूमेरिकल मास्टर ज्योमेट्री (NMG) का उच्च-निष्ठा अभिकलनीय तरल गतिकी (सीएफडी) अनुकरण अतिरिक्त परिचालन के लिए एक वायुगतिकीय डेटाबेस तैयार करने के लिए संस्थानिक अनुकूलन के साथ एक ओपन-सोर्स सीएफडी संरचना का उपयोग करके किया गया। उड़ान और परिभ्रमण वायुगतिकीय स्थितियां, नियंत्रण शक्ति और हिंज मोमेंट विक्षेपण, शक्ति प्रभाव, आपात कोण को मजबूत करने के लिए स्थानीय प्रवाह कोणीयता अध्ययन और आंशिक लैंडिंग गियर दरवाजे की खुली स्थिति वाले वायुयान के मौलिक वायुगतिकी को समझने के लिए सीएफडी विश्लेषण किया गया था। उड़ान पथ पर उच्च झुकाव (आपात कोण) के साथ उड़ान में वायुयान के आसपास के क्षेत्र में द्रव गतिशीलता और स्टॉल सुविधाओं का अध्ययन करने के लिए 140 मिलियन ग्रिड बिंदुओं के साथ विलंबित पृथक एडी सिमुलेशन (DDES) भी किया गया।

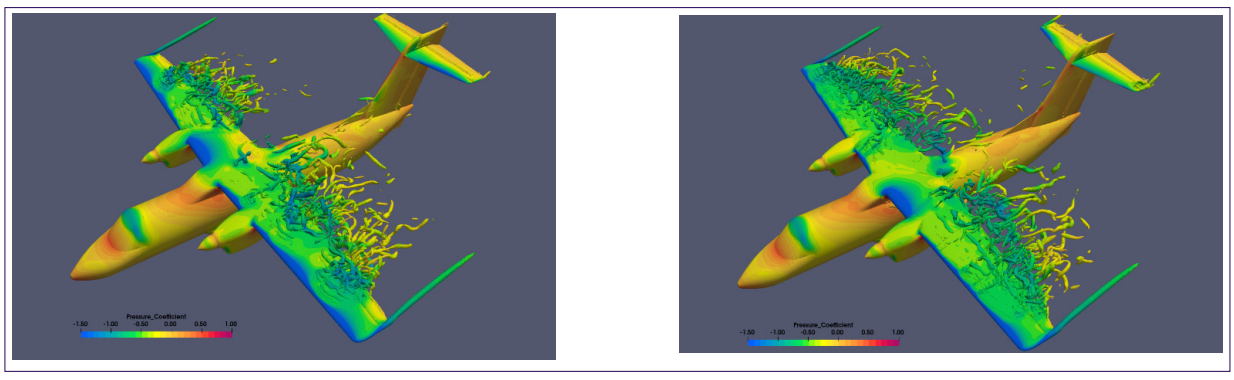
सारस Mk II पावर प्लांट के विभिन्न सबसिस्टम, लाइन रिप्लेसेबल (LRU) और इंजन नियंत्रण प्रणालियों के प्रदर्शन और कार्यात्मक परीक्षणों



कार्गो दरवाजा और नैसेल के सीएडी प्रतिरूप

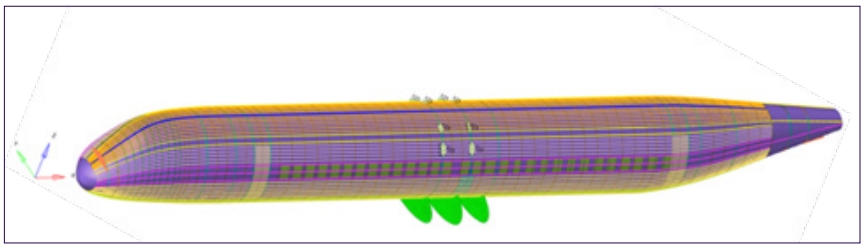




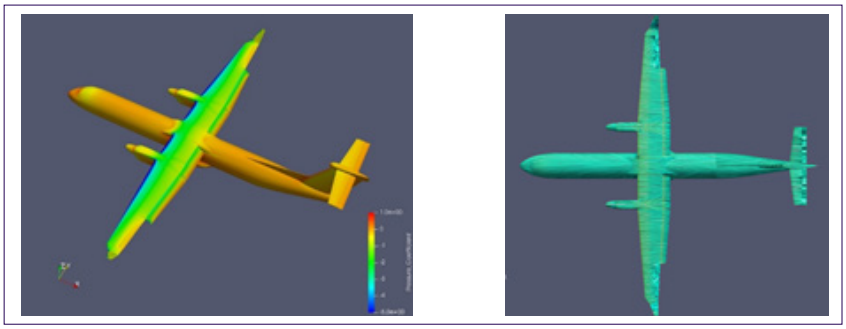


विभिन्न उड़ान मोड में सारस Mk II के वयुगतिकी का उच्च-निष्ठा संख्यात्मक अनुकरण

को पूरा करने के लिए नोदन प्रभाग में ओपन-एयर इंजन टेस्ट बेड स्थापित किया गया है, जिसमें ट्रैक्टर कॉन्फ़िगरेशन में PT 6A-67A इंजन और कम्पोजिट एमटी प्रोपेलर शामिल हैं। प्रमुख उपलब्धियों में से एक 80% टॉर्क पर इंजन ग्राउंड रन का पूरा होना और 15% रिवर्स टॉर्क संचालन के साथ-साथ ओवर-स्पीड गवर्नर चेक था। यह प्रचालन स्वदेशी रूप से विकसित दो-लीवर थ्रॉटल कंट्रोल बॉक्स के साथ पूरा किया गया। सारस-Mk II की इलेक्ट्रिकल प्रणाली में प्रमुख उपलब्धी साबित हुए हैं जो हैं, प्राथमिक वितरण इकाई पूरे किए गए इंजन टॉर्क के 23% पर 320/300 A की विद्युत रेटिंग तक इलेक्ट्रिकल भार टेस्ट, Li-पॉलीमर बैटरी कार्ट के प्रभावी सत्यापन के लिए लगातार तीन इंजन स्टार्ट और लगातार 8 इंजन स्टार्ट के लिए स्वदेशी रूप से विकसित लिथियम-आयन बैटरियों का प्रदर्शन मूल्यांकन।



RTA का परिमित तत्व मॉडल



विस्तारित फ्लैप के साथ पूर्ण पैमाने आरटीए से आगे के प्रवाह का संख्यात्मक प्रवाह दृश्य (लैंडिंग के दौरान)

क्षेत्रीय परिवहन वायुयान

आरटीए-90 फ्यूसलिज का संरचनात्मक डिजाइन, विश्लेषण और अनुकूलन किया गया। श्रांति भार स्पेक्ट्रम सहित फ्यूसलिज के वजन, मोटाई, फ्यूसलिज-पंख की प्रतिक्रिया, विक्षेपण समोच्च, तनाव, विफलता सूचकांक और बकलिंग आइजेनवैल्यू का अनुमान लगाया गया।

वर्ष के दौरान ओपन-सोर्स हाई-फिडेलिटी सीएफडी संरचना का उपयोग करके आरटीए के पूर्ण पैमाने के मॉडल का व्यापक संख्यात्मक सिमुलेशन किया गया। ऊर्ध्वाधर और क्षैतिज पूंछों को आकार देने के लिए सीएफडी सिमुलेशन से अनुदैर्ध्य और दिशात्मक स्थिरता व्युत्पन्न का उपयोग किया गया था। एक विस्तृत प्रवाह विश्लेषण ने मजबूत पृथक्करण के क्षेत्रों की पहचान करने और वायुगतिकीय रूप से कुशल नैसेल, विंगलेट और फेयरिंग क्षेत्रों को डिजाइन करने में मदद की। सभी नियंत्रण सतह अंतरालों के साथ पूर्ण पैमाने आरटीए ज्यामिति का अध्ययन किया गया। अंतिम संस्करण का वायुगतिकीय लक्षण वर्णन, जिसमें नियंत्रण शक्ति, काज क्षण, फ्लैप प्रभाव और साथ ही शक्ति प्रभाव शामिल हैं, किया गया। 35 डिग्री फ्लैप के साथ आरटीए-90 विमान पर सतह दबाव वितरण और स्ट्रीमलाइन पैटर्न का उपयोग करके संख्यात्मक प्रवाह दृश्य भी किया गया।

वर्ष के दौरान एक वास्तविक आरटीए कॉकपिट मॉक-अप का निर्माण किया गया। मॉक-अप में कई नवीन उप-प्रणालियाँ शामिल थीं, जिनकी परिकल्पना आरटीए के लिए की गई थी। उन्नत डिस्प्ले और संचार, नेविगेशन और निगरानी उपकरणों के सूट को नई पीढ़ी के एवियोनिक्स के साथ एकीकृत किया गया है, जो एक बेहतर उड़ान का अनुभव प्रदान करेगा। इसके अलावा, एफसीएस पैनल और स्विच, जॉयस्टिक, थ्रॉटल बॉक्स, फ्लैप कंट्रोल और रडर पैडल और एवियोनिक्स कंट्रोल से सक्रिय इनपुट के साथ कॉकपिट का फ्लाई-बाय-वायर हिस्सा पायलटों को वास्तविक जीवन की हैंडलिंग गुणवत्ता का एहसास देगा। कॉकपिट में पावर प्लांट, दबाव और ईसीएस, इलेक्ट्रिकल, लाइफ सपोर्ट, डी-आइसिंग/एंटी-आइसिंग सिस्टम आदि जैसे विमान उप-प्रणालियों के लिए नियंत्रण शामिल थे। यह उपयोगी विमान डेटा के प्रदर्शन और प्रदर्शन, वजन और संतुलन, ईंधन गणना आदि जैसी बुनियादी गणना करने के लिए एक इलेक्ट्रॉनिक फ्लाइट बैग से भी सुसज्जित था। नोदन प्रभाग ने आरटीए परियोजना चरण के हिस्से के रूप में एक केबिन एयर कंप्रेसर (CAC) विकसित किया।

उच्च ऊंचाई वाला छद्म उपग्रह (पूर्ण पैमाने HAPS और उप पैमाने – HAP-SS)

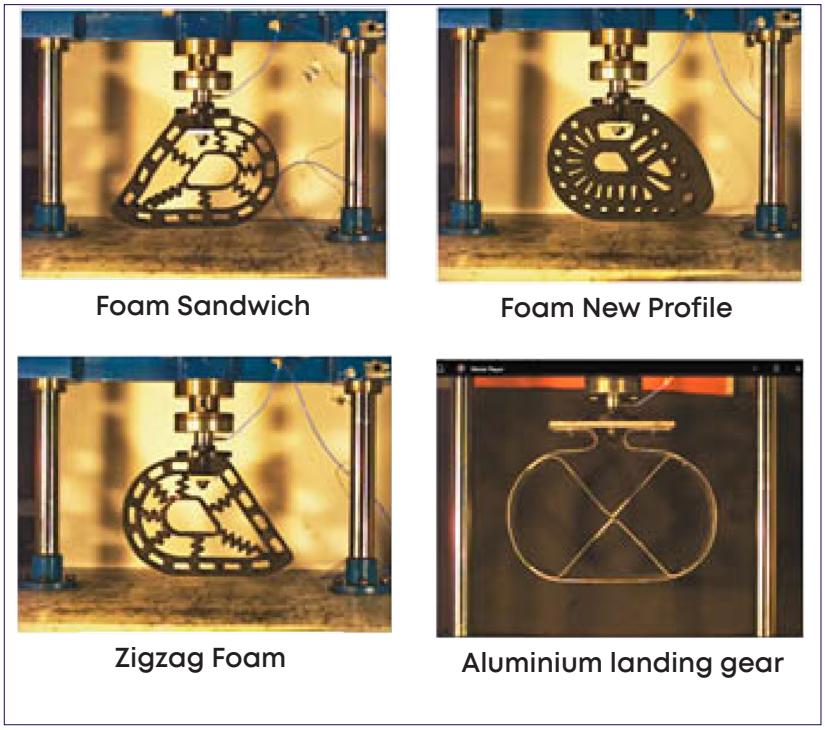
पंख और क्षैतिज पुछ (एच टी) का अभिकल्पना और विश्लेषण महत्वपूर्ण भार मामलों के लिए सफलतापूर्वक पूरा किया गया और स्थैतिक शक्ति परीक्षणों के माध्यम से मान्य किया गया। हैप-एसएस और नियंत्रण सतहों के नियंत्रण व्युत्पन्नों के स्पंदन और झोंके प्रतिक्रिया विश्लेषण का पूर्वानुमान किया गया। एक संस्थानिक ऊर्जा अवशोषण स्किड विकसित किया गया।

एचएपी एसएस के कुशल ऊर्जा प्रबंधन और बिजली प्रणाली (ईएमपीएस) के संस्थानिक अभिकल्पना, विकास और ऑफ-लाइन परीक्षण किए गए। एचएपी-एसएस एयरफ्रेम पर एक सौर फोटोवोल्टिक (PV) आधारित बिजली उत्पादन प्रणाली स्थापित की गई है। प्रोटोटाइप का सीएसआईआर-एनएएल में जमीनी परीक्षण किया गया और फिर एयरोनॉटिकल टेस्ट रेंज (एटीआर), चित्रदुर्ग में सफलतापूर्वक उड़ान परीक्षण किया गया। बिजली प्रणाली ने अच्छा प्रदर्शन किया और अपने अभिकल्पना

उद्देश्यों को पूरा किया। सौर पीवी से सुसज्जित ईएमपीएस प्रणाली ने विमान को 8.5 घंटे से अधिक समय तक उड़ान भरने में सक्षम बनाया। उड़ान-परीक्षणों के दौरान, लगभग 3000 मीटर की अधिकतम ऊंचाई हासिल की गई। सिस्टम ने उड़ान परीक्षणों की कठिनाइयों को सफलतापूर्वक पूरी की है, जिसमें थर्मल धाराओं और तेज हवाओं के कारण उच्च चढ़ाई और वंश दर शामिल है।

आरटीए का पूर्ण पैमाने पर मॉक-अप

सीएसआईआर - एनएएल के संस्थानिक सीएफडी ज्ञानधार को विभिन्न उड़ान स्थितियों में हैप-एसएस के वायुगतिकी का अध्ययन करने के लिए नियोजित किया गया था, जिसमें विस्तारित एलेरॉन और इसकी स्थिरता और निकट-भूमि स्थितियों के लिए नियंत्रण विशेषताएँ शामिल थीं। लिफ्ट के साथ कुशनिंग प्रभाव और बाउंसिंग वोर्टेक्स इंटरैक्शन और प्राथमिक और द्वितीयक नियंत्रण सतहों की प्रभावशीलता पर अध्ययन किया गया। इसी तरह के अध्ययन हैपस के फुल स्केल पंख पर भी किए गए।

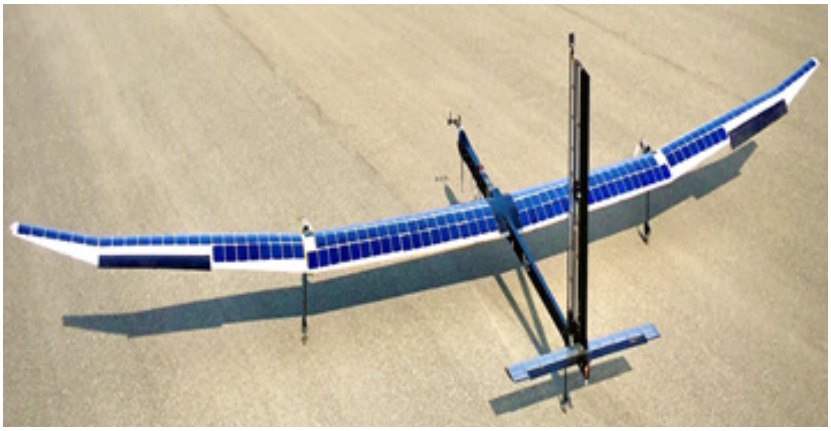


एचएपी-एसएस के विभिन्न लैंडिंग गियर विन्यासों का निम्न वेग संघात परीक्षण

हैप्स कार्यक्रम की मुख्य विशेषताओं में से एक सॉफ़्टवेयर-इन-लूप सिम्युलेटर (सिल्स) सुविधा का निरंतर सुधार है। उडान परीक्षणों से पहले, सिल्स का उपयोग युएवी पायलटों को प्रशिक्षित करने और उन्हें उड़ान परीक्षणों के लिए तैयार करने के लिए किया गया था। उड़ान परीक्षणों के बाद, परीक्षण के दौरान प्राप्त प्रायोगिक अवलोकनों की तुलना सिमुलेशन परिणामों से की गई और सिमुलेशन मॉडल को अद्यतन किया गया।

मानव रहित वायुयान

वर्ष 2023-24 में जनवरी-मार्च 2024 के दौरान क्यू-प्लेन के उड़ान परीक्षण किया गया। इन उड़ानों के दौरान स्वायत्त टेक-ऑफ, फिक्स्ड-विंग मोड में संक्रमण, स्वायत्त नेविगेशन मोड, लैंडिंग मोड में संक्रमण और स्वायत्त लैंडिंग जैसे विभिन्न मोड सत्यापन किए गए। संभावित अंतिम उपयोक्ताओं के लिए क्यू-प्लेन प्रदर्शित करना प्रस्तावित है। अपनी विरासत को जारी रखते हुए, ऑक्टाकॉप्टर ने अपने समाजोन्मुख मिशनों को अंजाम दिया। 10 किलोग्राम पेभार ले जाने और 30 मिनट की उडान के लिए प्लेटफ़ॉर्म का



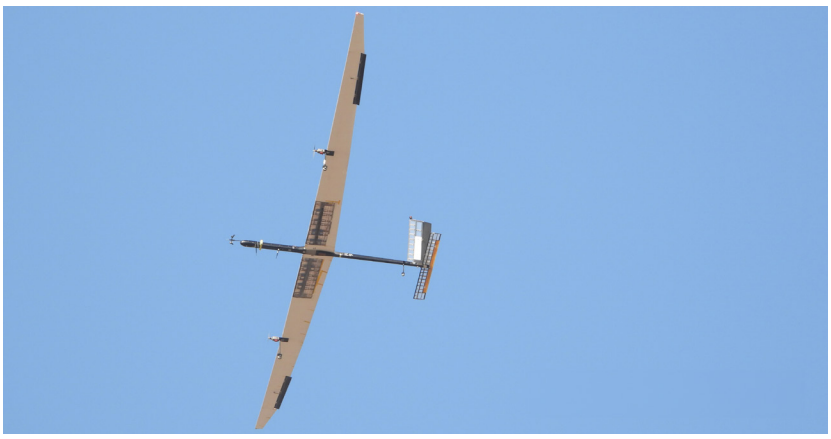
उड़ान भरने से पहले रनवे पर एचएपी-एसएस

अनुकूलन इस वर्ष के दौरान पूरा करके प्रदर्शित किया गया। पहली मिशन उड़ान नागपुर के भांडेवाड़ी डंपिंग यार्ड में आयोजित की गई, जिसमें ऑक्टोकॉप्टर ने एक सैंपलर उड़ाया, 200 मीटर की दूरी तय की और जल निकाय के ऊपर मंडराते हुए एक लीचेट तालाब से नमूने एकत्र किए।

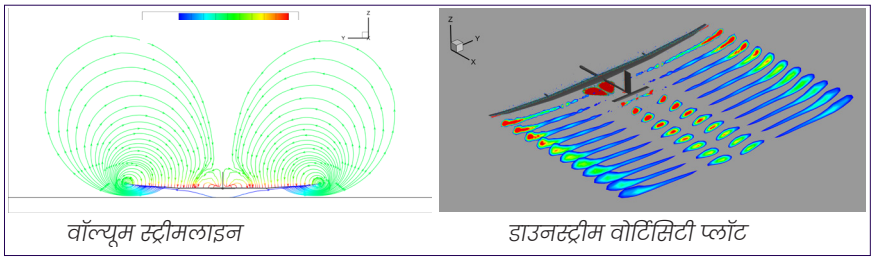
सामरिक क्षेत्र में योगदान

सीएसआईआर-एनएएल ने भारत के सामरिक क्षेत्र में भी योगदान दिए है। सीएसआईआर-एनएएल आंतरिक और बाहरी टूलींग विकास के साथ-साथ LCA Mk 1A और Mk 2 सम्मिश्रित भागों के डिजाइन और निर्माण में बहुत सक्रिय रहा है। यह गर्व की बात है कि LCA-तेजस Mk 1A के शृंखलाबद्ध उत्पादन के लिए बिस्मलीमाइड (बीएमआई) रेजिन इंजन बे दरवाजा के लिए प्रौद्योगिकी हस्तांतरण (ToT) करार पर हिंदुस्तान एयरोनॉटिक्स लिमिटेड के साथ हस्ताक्षर किए गए । LCA के इन-बोर्ड पाइलॉन फेयरिंग का डिजाइन और विकास के लिए 'एक्स' बैंड में इलेक्ट्रोमैग्नेटिक (EM) निष्पादन के मानदंड को अपनाया गया है। इसके अलावा, कुशल टूलींग अवधारणाओं के साथ बड़ी प्राथमिक संरचनाओं के सह-क्युरिंग की व्यवहार्यता प्रदर्शित करने के लिए एक लड़ाकू वायुयान के लिए फ्लैपरॉन टेस्ट बॉक्स का विकास शुरू किया गया। सीएसआईआर-एनएएल ने चुनौतीपूर्ण तरीके से एयर इनटेक अध्ययन के लिए 1:8.2257 स्केल LCA AF Mk 2 मॉडल के जटिल सम्मिश्रित भागों का भी डिजाइन और विकास किया है। एडवांस्ड मीडियम कॉम्बैट एयरक्राफ्ट (AMCA) कार्य के लिए को-क्योर्ड हाइब्रिड सम्मिश्र के साथ टेस्ट बॉक्स और एयर इनटेक-डक्ट एसेंबली का विकास अच्छी तरह से आगे बढ़ा ।

सीएसआईआर-एनएएल के राष्ट्रीय त्रिध्वनिक वायुगतिकी सुविधा प्रभाग ने वर्ष के दौरान 1.2 मीटर (1225 अवधमन) और 0.6 मीटर (1045 अवधमन) त्रिध्वनिक पवन सुरंगों में 2270 अवधमन पूरा करते हुए सामरिक क्षेत्र का समर्थन करने हेतु अपने अनुसंधान प्रयासों को जारी रखा है। इस वर्ष के दौरान विभिन्न मिसाइल



एयरबोर्न एचएपी-एसएस



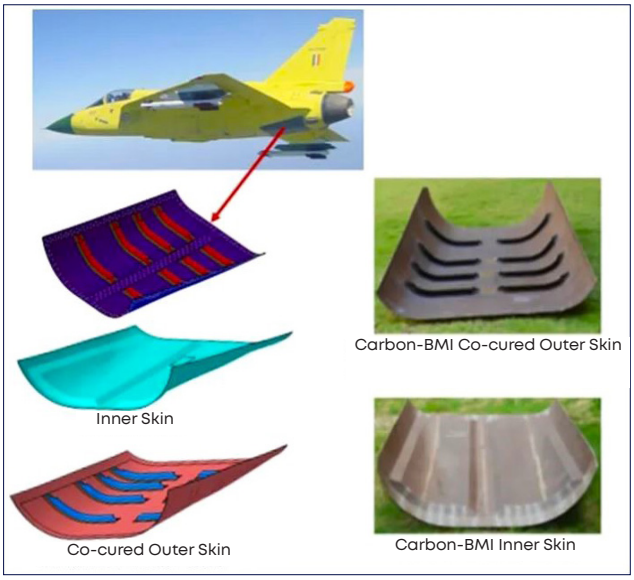
वॉल्यूम स्ट्रीमलाइन *डाउनस्ट्रीम वोर्टिसिटी प्लॉट*

एचएपी-एसएस मॉडल पर थल प्रभाग का संख्यात्मक अनुकरण

एचएपी-एसएस के सिल्स

और लड़ाकू विमान विन्यासों पर की गई विभिन्न प्रायोगिक जांचों के कारण डीआरडीओ, एडीए जैसे संगठनों को अत्यधिक लाभ हुआ। बल/क्षण/दबाव माप के अलावा, विभिन्न मिसाइल विन्यासों के नियंत्रण सतहों पर हिंज मोमेंट माप जैसी विशेष परीक्षण तकनीक और ग्रिड-आधारित प्रक्षेप पथ प्रणाली (GVT) जैसे विशेष रिग को मूल युद्ध वायुयान से स्टोर अलगाव का अध्ययन करने के लिए चुना गया ।

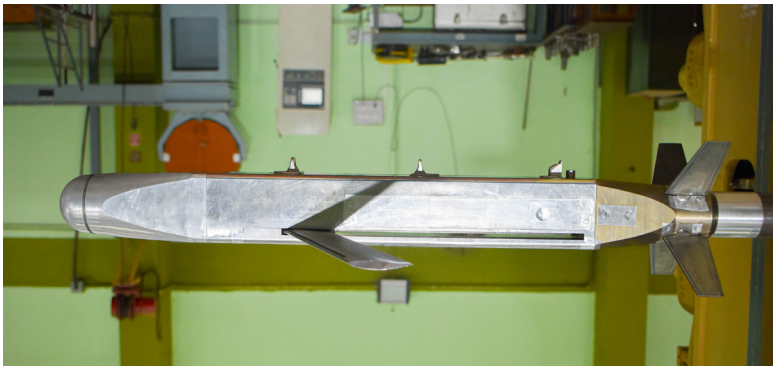
LCA AF Mk 2 एईएसए रडार के रेडोम सम्मिश्र संरचना और संबंधित भागों का संरचनात्मक डिजाइन और विश्लेषण सीडीआर के साथ सफलतापूर्वक पूरा कर लिया गया । एएमसीए एफएसएस रेडोम के विस्तृत विश्लेषण और कैड मॉडलिंग ने महत्वपूर्ण प्रगति की । LCA AF Mk 2 कार्ट्ज रेडोम की स्थैतिक शक्ति परीक्षण प्रगति पर है। एएमसीए के लिए उन्नत मिश्रित पदार्थों की उपयुक्तता का पता लगाने के लिए स्थैतिक और श्रांति सहित विभिन्न कूपन-स्तरीय यांत्रिक परीक्षण चलाए गए। फ्लैपरॉन आंतरिक संरचनाओं, जोड़ों और अन्य डिजाइन सुविधाओं के लिए अर्हता प्राप्त करने हेतु एएमसीए के फ्लैपरॉन टेस्ट बॉक्स



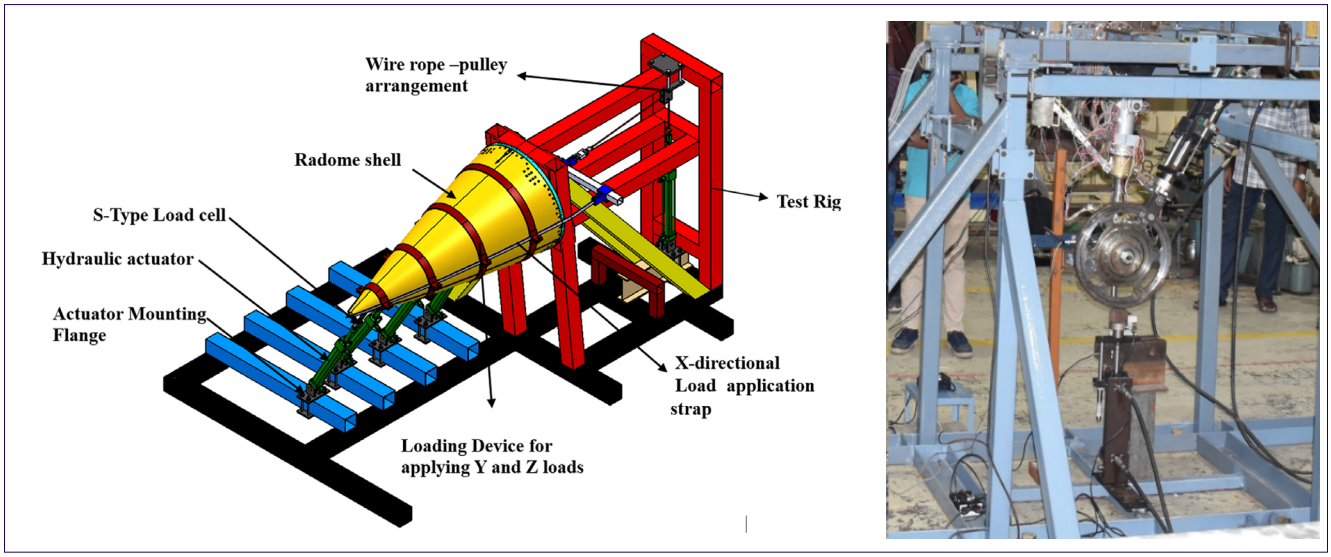
Engine Bay Door Assembly for LCA-Tejas

एचएएल और सीएसआईआर-एनएएल के बीच टीओटी समझौते का आदान-प्रदान

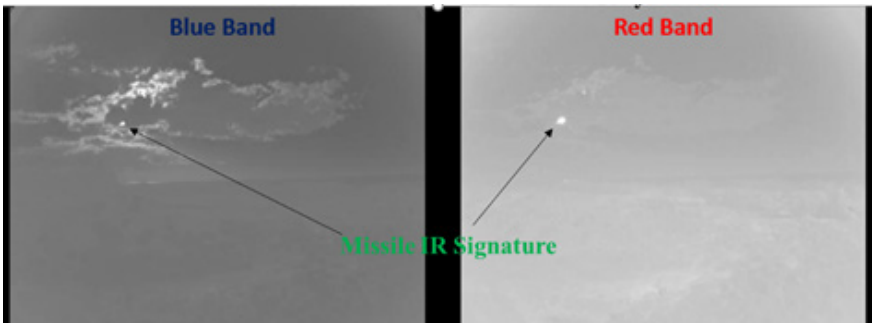
पर श्रृंखलाबद्ध परीक्षण किए गए। एएमसीए में उपयोग के लिए प्रस्तावित फ्रीक्वेंसी सेलेक्टिव सरफेस (FSS) आधारित प्लानर जीएफआरपी लैमिनेट का स्थैतिक शक्ति परीक्षण किया गया। क्षति सहनशीलता मूल्यांकन के एक भाग के रूप में, टरबाइन मानक भार अनुक्रम के तहत निकल-आधारित सुपरएलॉय में दरार का विकास व्यवहार प्रयोगात्मक, विश्लेषणात्मक और कम्प्यूटेशनल तरीकों से निर्धारित किया गया । स्टील्थ विंग फ्लाइंग टेस्ट बेड यूएवी, नोज लैंडिंग गियर और मुख्य लैंडिंग गियर पर स्थैतिक परीक्षण किए गए। सीएसआईआर-एनएएल ने एएन 32-व्हील हब और अन्य घटकों के जीवन विस्तार के लिए अपना समर्थन जारी रखा है। भारतीय वायुसेना के प्रमुख विमान प्लेटफार्मों जैसे कि Su-30Mk I, मिराज 2000 और जगुआर विमान की गतिशील विशेषताओं को विभिन्न उन्नत स्टोरों के साथ एकीकृत करके ग्राउंड कंपन परीक्षण (GVT) के माध्यम से 46



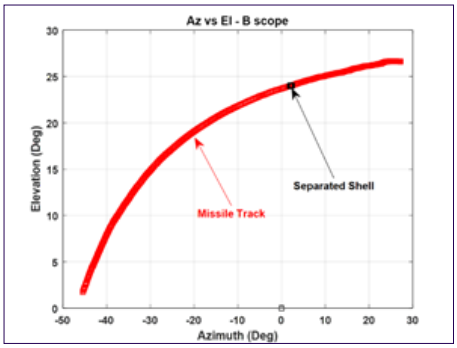
1.2 मीटर सुरंग में स्थापित मानव रेटेड प्रक्षेपण यान मॉडल की एक तस्वीर



क्वार्ट्ज रेडोम का स्थैतिक शक्ति परीक्षण रिग स्विफ्ट यूएवी के लैंडिंग गियर का स्थैतिक परीक्षण



मिसाइल आईआर हस्ताक्षर एमएडब्ल्यूएस कैमरा यूनिट के नीले और लाल बैंड में कैप्चर किए गए



संस्थानिक एल्गोरिदम का उपयोग करके सूर्यलंका में आकाश एसएएम परीक्षण के लिए मिसाइल कोणीय ट्रैक की पुर्वानुमान

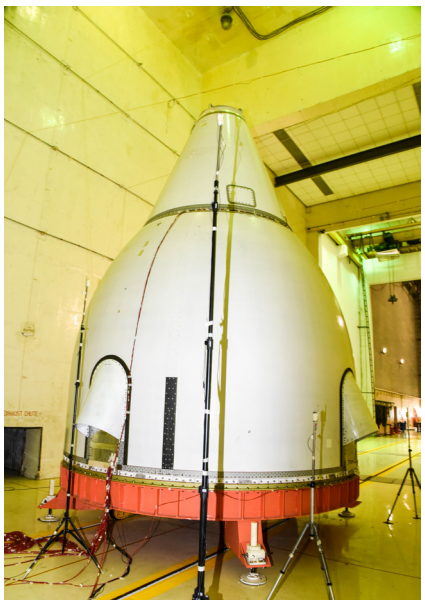
परिचालन विन्यासों के लिए तैयार किया गया ।

LCA और एएमसीए के नियंत्रण विधि का आकलन करने के लिए लड़ाकू वायुयान अनुकरण सुविधाओं का बड़े पैमाने पर उपयोग किया गया । एक पीएक्सआई-आधारित डेटा अधिग्रहण प्रणाली को डिस्ट्रीब्यूटेड इंजीनियर इन लूप सिम्युलेटर (डेल्स) में डिजाइन, विकसित, प्रापण और एकीकृत किया गया। डीईएलएस सुविधा का उपयोग 3डी भूभाग और टनल-इन-द-स्काई सिम्बोलॉजी से युक्त सिंथेटिक विज़न सिस्टम के पायलट मूल्यांकन के लिए भी किया गया । LCA नौसेना विमान ने स्वदेशी विमान वाहक आईएनएस-विक्रांत पर सफलतापूर्वक लैंडिंग और टेक-ऑफ (ट्रैप/स्की-जंप) का संचालन किया। उन्नत डिजिटल फ्लाइट कंट्रोल कंप्यूटर (डीएफसीसी) और मिशन कंप्यूटर के साथ Mk 1 वायुयान की पहली उड़ान मार्च 2024 में सफलतापूर्वक भरी । LCA Mk 2 के टेक-ऑफ के लिए नियंत्रण विधि का मूल्यांकन लूप में पायलटों के साथ शुरू हुआ।

सीएसआईआर-एनएएल ने LCA Mk 2 और एएमसीए विमान कार्यक्रमों के लिए इन्फ्रारेड सर्च एंड ट्रैक (आईआरएसटी), मिसाइल एप्रोच वार्निंग सिस्टम (एमएडब्ल्यूएस), रडार और रडार वार्निंग रिसीवर (आरडब्ल्यूआर) जैसे ऑनबोर्ड सेंसर का उपयोग करके बहु-लक्ष्य ट्रैकिंग/फ्यूज़न के लिए विभिन्न एल्गोरिदम के विकास पर अपना शोध कार्य जारी रखा है। इस परिप्रेक्ष्य में, एमएडब्ल्यूएस के लिए एक बहु-लक्ष्य ट्रैकिंग एल्गोरिदम विकसित किया गया और ग्लोबल नियरेस्ट नेबरहुड (GNN) आधारित बहु-लक्ष्य ट्रैकिंग एल्गोरिदम का उपयोग करके हवाई लक्ष्यों और होमिंग मिसाइलों के ऐंगल-ओनली लक्ष्य ट्रैकिंग का संचालन किया गया । सिमुलेशन वातावरण में पाँच मिसाइल मार्गदर्शी विधि विकसित किए गए। डीआरडीओ के वास्तविक डेटासेट का उपयोग करके इन मार्गदर्शी विधि के साथ होमिंग मिसाइलों हेतु लक्ष्य ट्रैकिंग एल्गोरिथम को मान्यता दी गई ।

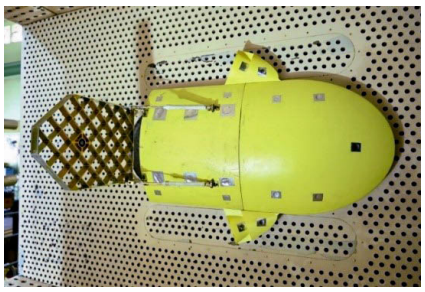
अंतरिक्ष कार्यक्रम में योगदान

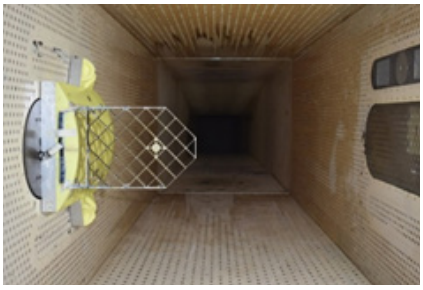
2023-24 के दौरान, सीएसआईआर-एनएएल ने भारत के अंतरिक्ष कार्यक्रमों में महत्वपूर्ण योगदान दिया। सीएसआईआर-एनएएल ने इसरो के प्रक्षेपण यान के वर्तमान चरणों और उप प्रणालियों की विकासात्मक और उड़ान हार्डवेयर ध्वानिक योग्यता में उत्कृष्ट सहायता प्रदान की। सीएसआईआर-एनएएल ने गगनयान परीक्षण यान - क्रू एस्केप सिस्टम की ध्वानिक योग्यतापुरा किया। एक निजी फर्म,



सीएसआईआर-एनएएल में ध्वनिक परीक्षण के तहत गगनयान परीक्षण यान क्रू एस्केप प्रणाली

जीएसएलवी (F14) -L40 SONC ध्वानिक परीक्षण





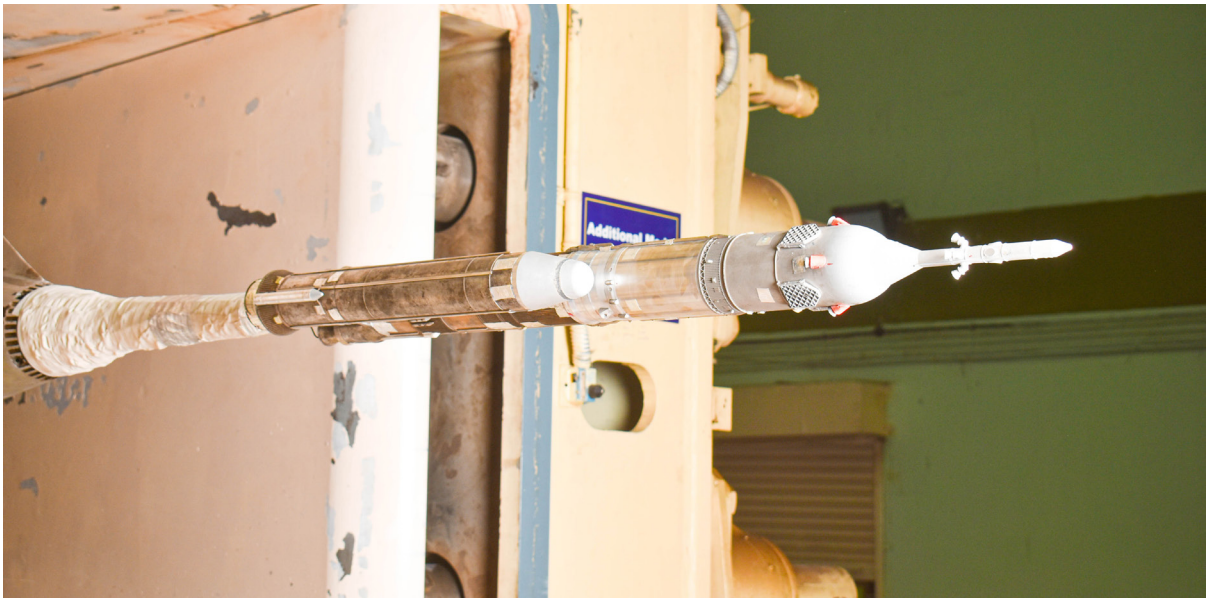
क्रू एस्केप सिस्टम पर ग्रिड फिन का ट्रांसोनिक स्पंदन अध्ययन

मेसर्स अग्निकुल कॉसमॉस द्वारा निर्मित एक छोटे उपग्रह प्रक्षेपण यान के अंतर-मंच पर ध्वानिक परीक्षण किए गए। सीएसआईआर-एनएएल ने जीएसएलवी-फ्लाइट 14 के L40 एवियोनिक्स डेक और LVM3 C32 इंटर-टैंक चरण का भी परीक्षण किया ।

गगनयान प्रक्षेपण यान विन्यास के लिए एयरोइलास्टिक क्लीयरेंस गतिविधियों के एक भाग के रूप में, परीक्षण यान पर ट्रांसोनिक बुफे का अनुमान, मानव रेटेड लॉन्च वाहन-गगनयान और जीएसएलवीएम 3 विन्यास और क्रू एस्केप सिस्टम पर ग्रिड फिन के ट्रांसोनिक स्पंदन अध्ययन किए गए ।

उड़ान-स्तर (प्रोटो-फ्लाइट) पर्यावरणीय परिस्थितियों के तहत, विशेष रूप से अर्ध-स्थैतिक और गतिकीय परिदृश्यों के तहत सूक्ष्म उपग्रह संरचनात्मक प्रदर्शन का मूल्यांकन करने के लिए 60 किलोग्राम श्रेणी के सूक्ष्म उपग्रह के पहले उड़ान मॉडल पर श्रृंखलाबद्ध कंपन योग्यता परीक्षण किए गए।

2023-24 के दौरान, सीएसआईआर-एनएएल ने इसरो के गगनयान कार्यक्रम के लिए मानव-रेटेड प्रक्षेपण यान और क्रू मॉड्यूल पर एक विस्तृत प्रायोगिक जांच की। एक निजी फर्म, मैसर्स स्काईरूट प्रा. लिमिटेड द्वारा अभिकल्पना और विकसित किए गए प्रक्षेपण यान विन्यास के



मानव-रेटेड प्रक्षेपण यान मॉडल 1.2 मीटर सुरंग में स्थापित किया गया है।

लिए वायुगतिकीय अभिलक्षणीकरण भी किया गया।

नोदन प्रभाग ने मैक 2.25 स्थितियों पर विकृत वायु द्रव्यमान प्रवाह दर 6.6 - 11.0 किग्रा/सेकेंड और कुल तापमान 1550-1700 K के लिए इसरो-वीएसएससी डुअल फ्यूल स्क्रैमजेट (DFS) दहनतंत्र का प्रयोगात्मक मूल्यांकन किया।

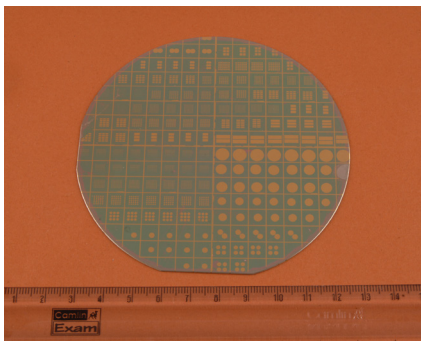
विशेष पदार्थ और लेपन में योगदान

सीएसआईआर-एनएएल ने विशेष पदार्थों और लेपन के क्षेत्र में महत्वपूर्ण योगदान दिया है। कार्बन-फाइबर अनुसंधान-विकास गतिविधियां उचित आणविक भार और वितरण के साथ पूर्ववर्ती बहुलक के संश्लेषण पर केंद्रित रहीं। मुक्त कण जलीय घोल पोलीमराइजेशन प्रक्रिया में सक्रियकर्ता/आरंभकर्ता अनुपात और आरंभकर्ता एकाग्रता जैसे प्रक्रिया मापदंडों के प्रभावों की जांच की गई। पॉलीएक्रिलोनिट्राइल (पैन) कॉपोलीमर के साथपूर्ववर्ती पॉलिमर के लिए अधिमान्य आणविक वास्तुकला प्राप्त करने के लिए भारी कॉमोनोमर्स को संश्लेषित किया गया । उपयुक्त कार्बनिक विलायक में घुलने के बाद, पॉलिमर को जमाव बाथ में बाहर निकालने से पहले बारीक निस्पंदन के कई चरणों के अधीन किया गया। निर्बाध निरंतर फाइबर कताई के लिए जेल-फ्री कताई डोप सुनिश्चित करने के लिए फाइबर कताई क्षेत्र में निस्पंदन उपकरण और डोप ट्रांसफर लाइन को उन्नत किया गया । अधिक गोलाकार के साथ पूर्वगामी तंतु क्रॉस-सेक्शनल एकरूपता प्राप्त की गई। विभिन्न खिंचाव अनुपातों के साथ विभिन्न तापीय व्यवस्थाओं के तहत कार्बन फाइबर को स्थिर और पूर्व-कार्बोनाइज करने के लिए विभिन्न प्रक्रिया अध्ययन किए गए । कार्बन फाइबर साइजिंग विकसित करने के लिए निजी उद्योग के साथ स्वदेशीकरण के प्रयास किए गए । एयरोस्पेस-ग्रेड एपॉक्सी रेज़िन को प्रयोगशाला के पैमाने पर तैयार और मूल्यांकन किया गया। रेज़िन निर्माण के लिए स्वदेशी बहुक्रियाशील एपॉक्सी रेज़िन और हार्डनर्स का उपयोग किया गया और उनके गुणों का परीक्षण किया गया। उन्होंने सूखे कांच के संक्रमण तापमान को 206-215 डिग्री सेल्सियस और गीले टीजी ≈ 160 डिग्री सेल्सियस की सीमा में प्रदर्शित किया।

सीएसआईआर-एनएएल में विफलता विश्लेषण और दुर्घटना जांच पिछले पांच दशकों से एक सतत गतिविधि रही है और सीएसआईआर-एनएएल को इससे ख्याति प्राप्त हुई। यह गतिविधि भारतीय वायु सेना, भारतीय नौसेना, हिंदुस्तान एयरोनॉटिक्स लिमिटेड, डीआरडीओ प्रयोगशालाओं और नागरिक उड्डयन मंत्रालय (एमओसीए) के विमान दुर्घटना जांच ब्यूरो (एएआईबी) की जरूरतों को पूरी कर रही है। 2023-24 में विमान घटनाओं/दुर्घटनाओं से जुड़ी 27 परीक्षणों की जांच की गई। अधिकांश मामलों में, घटना/दुर्घटना के प्राथमिक कारणों की पहचान की गई और रोकथाम के लिए सिफारिशें सुझाई गईं।

निकेल-बेस सुपर एलॉय IN718 के लिए एक निर्धारित समय और 200 घंटे तक के तापमान के लिए संचित अवशिष्ट तनाव के साथ रेंगने के व्यवहार पर एक अध्ययन किया गया । चूंकि एयरो इंजन के दहन कक्ष और बाहरी आवरण में 550°C से 700°C की सीमा में तापमान का अनुभव होता है, इसलिए क्रीप जीवनकाल पर अवशिष्ट तनाव के प्रभाव का अध्ययन करने के लिए इस सीमा में क्रीप परीक्षण चलाए गए । अध्ययन से पता चला कि अवशिष्ट तनाव एयरो इंजन की विफलता की संभावना को कम करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है।

पिछले 2 दशकों में, सीएसआईआर-एनएएल ने कार्बन फाइबर और C_f/SiC सम्मिश्र की प्रक्रिया के लिए प्रौद्योगिकी विकसित की है । सीएसआईआर-एनएएल के विमान कार्यक्रम में अनुप्रयोगों के लिए अभिप्रेत संस्थानिक प्रौद्योगिकियों का उपयोग करने के लक्ष्य से एक कार्यक्रम के तहत, C_f/SiC ब्रेक डिस्क के निर्माण के लिए एक विकासात्मक गतिविधि शुरू की गई। C_f/SiC कंपोजिट को रासायनिक वाष्प अंतःस्पंदन (CVI) प्रक्रिया के माध्यम से विकसित किया गया और कूपन-स्तरीय नमूनों का अवसंरचित और अभिलक्षणीकृत की गई । गुणधर्म में पाए गए मूल्यों के बराबर रहें । इसके बाद C_f /SiC स्टेटर और रोटर डिस्क का



पीजोइलेक्ट्रिक थिन-फिल्म लेपन के साथ स्वदेशी रूप से विकसित SOI वेफर (Φ=4 इंच)।

निर्माण किया गया और डायनेमोमीटर परीक्षणों के अधीन किया गया। सीएसआईआर-एनएएल आइसोथर्मल-आइसोबैरिक सीवीआई (I-CVI) प्रक्रिया द्वारा निरंतर फाइबर-प्रबलित सिरेमिक मैट्रिक्स कंपोजिट (सीएमसी) भी विकसित कर रहा है। सीएमसी जैसे कार्बन फाइबर प्रबलित सिलिकॉन कार्बाइड मैट्रिक्स (C_f/SiC) कंपोजिट उच्च विशिष्ट शक्ति, उच्च विशिष्ट मापांक, उच्च विभंजन कठोरता (≥20 $MPa.m^{1/2}$) के कारण विभिन्न उच्च तापमान अनुप्रयोगों के लिए बेहतर घटक और उच्च क्षरण-परिघर्षण प्रतिरोध। आर्द्रता/तापमान परिवर्तन के सापेक्ष घर्षण के स्थिर गुणांक और C/C कंपोजिट की तुलना में बेहतर उच्च तापमान यांत्रिक गुणों और ऑक्सीकरण प्रतिरोध के कारण वे उन्नत (चौथी पीढ़ी) विमान ब्रेक डिस्क अनुप्रयोगों के लिए भी बेहतर घटक हैं। कम विनिर्माण समय/लागत (40-50%) वाले C_f/SiC कंपोजिट बनाने के लिए तरल सिलिकॉन अंतःस्पंदन (एलएसआई) दृष्टिकोण के साथ संयुक्त I-CVI को शामिल करने वाली हाइब्रिड प्रक्रिया अपनाई जा रही है। उद्योग-प्रायोजित परियोजना के तहत, मेसर्स अज़िस्ता कंपोजिट प्राइवेट लिमिटेड (एसीपीएल), हैदराबाद द्वारा आपूर्ति किए गए उबलते फिल्म सीवीआई और अन्य समाधान मार्गों के माध्यम से तैयार किया गया C/C कंपोजिट को सीवीआई-व्युत्पन्न सिलिकॉन कार्बाइड (SiC) मैट्रिक्स के साथ CIC-CVD के बाद यांत्रिक गुणों और ऑक्सीकरण प्रतिरोध में सुधार के लिए लेपन को सघन किया गया था।

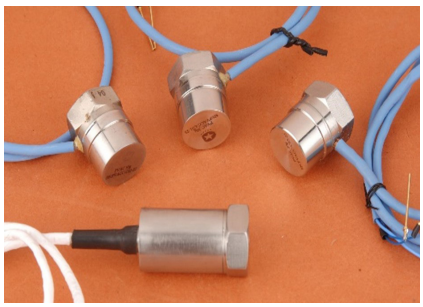
अपशिष्ट से संपत्ति रूपांतरण की अन्वेषण के रूप में, चावल की भूसी के अपशिष्ट संसाधन

को अनाकार सिलिका के मध्यवर्ती गठन के माध्यम से सिलिकॉन नाइट्राइड की एक इंजीनियर सामग्री में परिवर्तित किया गया । इलेक्ट्रोमैग्नेटिक (ईएम) विश्लेषण उच्च तापमान वाले रेडोम अनुप्रयोग के लिए चावल-भूसी-व्युत्पन्न सिलिकॉन नाइट्राइड पाउडर की उपयुक्तता का संकेत देते हैं।

सीएसआईआर-एनएएल लगभग दो दशकों से सेंसिंग और एक्चुएशन अनुप्रयोगों के लिए स्मार्ट और कार्यात्मक पदार्थों के विकास पर काम कर रहा है। वांतरिक्ष पदार्थों पर मिशन मोड परियोजना में, CSIR-CEERI के सहयोग से इलेक्ट्रोड पेस्ट का उपयोग करके लेड जिरकोनेट टाइटेनेट (PZT) टेप के साथ एकीकृत कम तापमान वाले सह-फायर्ड सिरेमिक (LTCC) की अनुकूलता का कार्य किया गया। उपचर के बाद बेहतरीन बॉन्डिंग देखी गई। सीएसआईआर-सीईईआरआई द्वारा आपूर्ति की गई एलटीसीसी में अभिलक्षणीकृत की गई। शुरुआती नतीजे उत्साहवर्धक रहीं ।

सीएसआईआर-एनएएल पोलीविनीलीडेंस फ्लोराइड (PVDF) एक्सेलेरोमीटर उपकरण के विकास में सबसे आगे रहा है। इन उपकरणों के परिणामों की तुलना मानक MEMSएक्सेलेरोमीटर, पीसीबी 3711बी1130जी से की गई। वैमानिकी विकास अभिकरण (ADA) की आवश्यकताओं के अनुसार एक्सेलेरोमीटर उपकरणों के आकार को 20 mm व्यास से घटाकर 12 mm व्यास और ऊंचाई 25.4 mm से घटाकर 17 mm करने के लिए संशोधित किया गया और ऐसे पांच उपकरणों को LCA में परीक्षण के लिए एडीए को सौंप दिया गया ।

सीएसआईआर-एनएएल में विकसित प्रक्रिया के प्रौद्योगिकी तैयारी स्तर को ध्यान में रखते हुए, डीएसटी से प्रौद्योगिकी विकास हस्तांतरण योजना के तहत देश में पहली बार सीएसआईआर-एनएएल में "पीजो MEMSट्रांसड्यूसर के लिए उत्कृष्टता केंद्र" स्थापित किया गया है, जिसका उद्देश्य प्रक्रिया की जानकारी को रक्षा एवं वांतरिक्ष बायोमेडिकल अनुप्रयोगों के लिए पीजो MEMSउत्पाद बनाने हेतु और देश की समान

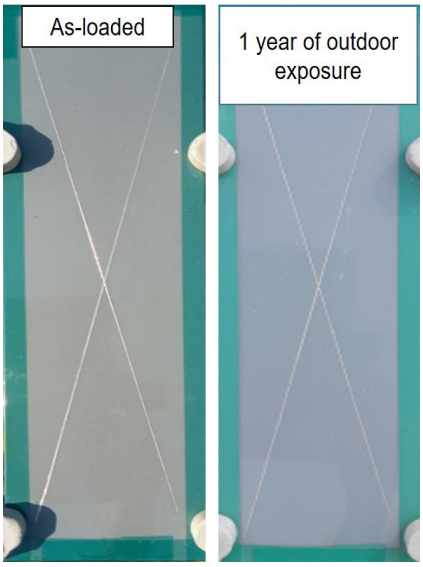


LCA के लिए पीवीडीएफ एक्सेलेरोमीटर उपकरणों की तस्वीर एडीए को सौंपी गई

वेफर्स की आवश्यकता को पूरा करने के लिए योग्य पीजो पतली फिल्म वेफर्स के उत्पादन हेतु प्रौद्योगिकी की प्रक्रिया रूपांतरण करना है।

लेपन गतिविधियों के संबंध में, सीएसआईआर-एनएएल को वांतरिक्ष क्षेत्र के लिए प्रौद्योगिकी हस्तांतरण, प्रमाणन और कार्यात्मक कोटिंग्स विकास में महत्वपूर्ण उपलब्धि हासिल करने में एक सफल वर्ष रहा। DGCA और QAAD (सीएसआईआर-एनएएल) द्वारा पर्यावरण-अनुकूल टार्टरिक सल्फ्यूरिक एसिड एनोडाइजेशन (टीएसए) प्रक्रिया के अनुमोदन पर, इस प्रक्रिया को हंसा -3 (NG) घटकों पर लागू किया गया है। सॉलिड ऑक्साइड फ्यूल सेल (SOFC) सिंगल-सेल तकनीक और नालसन-एनजी लेपन के लिए उद्योगों के साथ लाइसेंस समझौते पर हस्ताक्षर किए गए। यह प्रभाग ऑटोमोबाइल और एयरोस्पेस उद्योगों के लिए उन्नत सेंसर प्रौद्योगिकियों को विकसित करने में माहिर है।

हंसा वायुयान में इस्तमल होन वाले कार्सिनोजेनिक क्रोमिक एसिड एनोडाइजेशन (सीएए) लेपन के प्रतिस्थापन के रूप में पर्यावरण-अनुकूल टार्टरिक सल्फ्यूरिक एसिड एनोडाइजेशन (टीएसए) प्रक्रिया के कार्यान्वयन की दिशा में, सीएसआईआर-एनएएल द्वारा DGCA को एक संशोधन पत्रक (एनएएल/एमओडी/हंसा-3/048) प्रस्तुत किया गया। DGCA और QAAD (सीएसआईआर-एनएएल) से अनुमोदन के बाद, हंसा-3 (NG) घटकों पर टीएसए एनोडाइजेशन प्रक्रिया शुरू की गई है। सीएसआईआर-एनएएल Cr^{6+} युक्त क्रोमेट-मुक्त तीन-परत विमान लेपन प्रणाली मुक्त एनोडिक परत, एक क्रोमेट-



एज़-भारेड और 1-वर्षीय आउटदरवाजा एक्सपोज़्ड थ्री-लेयर लेपन सिस्टम की तस्वीर

मुक्त प्राइमर परत और पॉलीयुरेथेन (पीयू) टॉपकोट के प्रमाणीकरण का प्रयास कर रहा है। इस संबंध में, विभिन्न व्यावसायिक रूप से उपलब्ध क्रोमेट-मुक्त प्राइमरों और वर्तमान में सीएसआईआर-एनएएल के संस्थानिक वायुयान कार्यक्रमों में उपयोग किए जाने वाले टॉपकोट के साथ सीलबंद टीएसए एनोडिक परत पर व्यापक अध्ययन किए गए । आसंजन, विलायक प्रतिरोध, द्रव प्रतिरोध और तटस्थ नमक स्प्रे प्रतिरोध जैसे परीक्षणों की एक श्रृंखला के लिए परीक्षण किए गए विभिन्न क्रोमेट-मुक्त प्राइमरों में से एक वाणिज्यिक प्राइमर का प्रदर्शन बाकी प्राइमरों से बेहतर पाया गया। विशेष रूप से, चर्चा के तहत प्राइमर के साथ तीन-स्तरीय प्रणालियों ने 2500 घंटे से अधिक 3.5% तटस्थ नमक स्प्रे परीक्षण (एएसटीएम बी117) और मंडपम, रामेश्वरम, तमिलनाडु के समुद्र तट पर 1 वर्ष के बाह्य प्रदर्शन को सहन किया।

एक उद्योग-प्रायोजित परियोजना में, एमआर सिस्टम में हिस्टैरिसीस-मुक्त और सममित रैखिक प्रतिक्रिया प्राप्त करने के लिए अनुदैर्घ्य पूर्वाग्रह (LB) के साथ एक स्पिन वाल्व (longitudinal biasing - LB) विशाल मैग्नेटोरेसिस्टेंस (GMR) साधन का उपयोग किया गया । इस पूर्वाग्रह को स्पटर-जमा किए गए 600 nm CoCrPt मोटी फिल्म स्थायी चुंबक

(पीएम) का उपयोग करके महसूस किया गया। एसवी सेंसर स्टैक पर (Permanent Magnet) के इस समाकलन के परिणामस्वरूप ट्रांसफर वक्र में हिस्टैरिसीस को 3 Oe से 0.4 Oe तक कम किया गया।

सीएसआईआर-एनएएल ने सीएसआईआर के लिए एल्यूमीनियम मिश्र धातु (एए) 2024 और कार्बन फाइबर प्रबलित पॉलिमर (सीएफआरपी) सब्सट्रेट्स पर एक थर्मल इन्सुलेशन पेंट लेपन विकसित की है। एनएएल द्वारा विकसित सारस PT1N वायुयान के इंजन से निकलने वाले धुएं के कारण वायुयान के फ्युज़लेज़ और आसपास के क्षेत्रों में होने वाली अवांछित गरमी का सामना करने के लिए इस लेपन का विकास किया गया। थर्मल इंसुलेशन पेंट लेपन का प्री-प्रोडक्शन क्लीयरेंस सर्टिफिकेट आरसीएमए, सेमिलाक से प्राप्त किया गया ।

वांतरिक्ष पदार्थ और कोटिंग्स मिशन मोड परियोजना के तहत, टिकाऊ पॉलीयुरेथेन-आधारित सुपरहाइड्रोफोबिक कोटिंग्स; और पीवीडीएफ-आधारित पारदर्शी सुपरहाइड्रोफोबिक और एंटी-आइसिंग लेपन विकसित की गई। सुपरहाइड्रोफोबिक लेपन के पवन सुरंग पर अध्ययन एक और उल्लेखनीय अध्ययन रहा। माप से पता चलता है कि सुपरहाइड्रोफोबिक लेपन सीमा परत के संक्रमण में देरी का कारण है जिससे स्किन घर्षण कम हो जाता है।

सामाजिक क्षेत्र में योगदान

जलदोस्त को भारत सरकार के नमामि गंगे और जलशक्ति जैसे सीएसआईआर-एनएएल द्वारा राष्ट्रीय मिशनों के अनुरूप विकसित और व्यावसायीकृत किया गया है। घरेलू जरूरतों और इस उत्पाद को पड़ोसी और दक्षिण एशियाई देशों में निर्यात करने के अवसरों को बढ़ाने का एक अच्छा अवसर है जहां इस उत्पाद के लिए एक विशाल बाजार मौजूद है। हलसूर झील, बेंगलूरु और मंचनबेले जलाशय, मांड्या जिले में संतोषजनक परीक्षण के बाद, जलदोस्त को अगस्त 2023 के दौरान सीएसआईआर-एनएएल के वन वीक वन लैब (ओडब्लूयुओएल) अभियान के कर्टेन रेज़र इवेंट के दौरान सीएसआईआर-एनएएल के उत्पाद के रूप में प्रमोचित किया गया । जलदोस्त उत्पाद ने लॉन्च मीडिया का ध्यान आकर्षित किया और कई प्रमुख समाचार पत्रों में प्रकाशित हुआ।

जलदोस्त उत्पाद लॉन्च की फैलती खबर के बाद, बेंगलूरु के बाहरी इलाके में स्थित कन्नमंगला पंचायत ने अपनी सूखी हुई झील को साफ करने के लिए सीएसआईआर-एनएएल से संपर्क किया , जो उनका ताज़ा पानी का स्रोत था। निजी भागीदार मैसर्स. श्रीवारी इंजीनियरिंग सिस्टम्स प्रा. लिमिटेड ने तुरंत जलदोस्त को कार्य में लगाया और एकड़ों में फैले पानी से टनों खरपतवार और कचरा हटा दिया। इस प्रकार, जलदोस्त ने मीठे जल निकायों के कायाकल्प के लिए समाज के लिए अपनी क्षमता और उपयोगिता साबित की है।

अनुसंधान एवं विकास निष्पादन सूचकांक प्रौद्योगिकी लाइसेंसिंग

सीएसआईआर-एनएएल ने अपने अनुसंधान और विकास प्रमुख निष्पादन सूचकांक (केपीआई) और अपनी स्वदेशी प्रौद्योगिकियों और उत्पादों के व्यावसायीकरण में असाधारण उछाल दर्ज किया है। इस वर्ष प्रयोगशाला के लिए सीएसआईआर द्वारा कुल रु. 351.65 करोड़ सीएसआईआर अनुदान (116.00 करोड़ रुपये के केंद्रीय प्रशासन अनुदान को छोड़कर) आबंटित किया गया । सीएसआईआर के कुल अनुदान में से, अनुसंधान एवं विकास परियोजनाओं के लिए 95.07 करोड़ रुपये सारस Mk II, हंसा-3 (NG), टीडी-हाई एल्टीट्यूड स्यूडो सैटेलाइट (HAPS), क्षेत्रीय परिवहन विमान की परियोजना चरण (PDP-RTA), प्रमुख प्रयोगशाला परियोजनाएं (MLP), केंद्रित आधारित अनुसंधान (के तहत परियोजनाओं के लिए) FBR), आला निर्माण परियोजनाएं (FTC), फास्ट ट्रैक ट्रांसलेशनल (एफटीटी), और फास्ट ट्रैक व्यावसायीकरण (FDC) परियोजनाएं के प्रति रहें ।

वर्ष 2023-24 के दौरान सीएसआईआर-एनएएल को 44.05 करोड़ रुपये की लागत वाली 21 नई प्रायोजित परियोजनाएं और बाहरी एजेंसियों से 4.43 करोड़ रुपये की लागत वाली 5 अनुदान सहायता प्राप्त परियोजनाएं मिलीं । वर्ष के दौरान एलआरएफ उत्पादन 71.52 करोड़ रुपये रहें और 17.96 करोड़ रुपये का व्यय हुआ।

चालू वर्ष के दौरान बौद्धिक संपदा/ज्ञानाधारित लाइसेंस पर, सीएसआईआर-एनएएल ने लगभग 5.86 करोड़ रुपये के संचयी लाइसेंस शुल्क के साथ चार उद्योगों को सात प्रौद्योगिकियों का लाइसेंस दिया। इसके अलावा चालू वर्ष में टीओटी भागीदारों द्वारा प्राप्त ऑर्डरों का कुल मूल्य 14.20 करोड़ रुपये मूल्य हैं ।

वर्ष के दौरान, प्रयोगशाला ने बाहरी एजेंसियों (44 राष्ट्रीय और 6 विदेशी) के साथ 50 MoU/ एनडीए पर हस्ताक्षर किए । इस वर्ष आईपी पोर्टफोलियो में वृद्धि देखी गई क्योंकि 9 नए पेटेंट प्रस्ताव (8 भारतीय और 1 विदेशी) प्रस्तुत किए गए। वर्ष के दौरान, कुल 19 भारतीय पेटेंट और 1 विदेशी पेटेंट प्रदान किए गए। इसके अलावा, 1 कॉपीराइट और 1 ट्रेडमार्क भी प्रदान किया गया।

सीएसआईआर-एनएएल ने 2023-24 के दौरान एसीएसआईआर (AcSIR) के कार्यो में प्रशंसनीय उपलब्धियाँ भी हासिल की ।। वर्ष 2023-2024 के दौरान 10 छात्रों को प्रवेश दिया गया । 3 छात्रों ने प्री-थीसिस ओपन कोलोक्वियम पूरा कर लिया है और 3 छात्रों को पीएच.डी. से सम्मानित किया गया।

सम्मान और पुरस्कार

वर्ष 2023-24 प्रयोगशाला के लिए उत्साहवर्धक रहा। प्रमुख उपलब्धियाँ नीचे सूचीबद्ध हैं :

- डॉ. एस बी वर्मा को 25 मई 2023 को डीआरडीओ एकेडेमिया कॉन्क्लेव, डीआरडीओ भवन, नई दिल्ली में एआरडीबी-डीआरडीओ परियोजनाओं में उत्कृष्ट योगदान के लिए माननीय रक्षा मंत्री श्री राजनाथ सिंह द्वारा पुरस्कार।
- डॉ. अभय ए पाशिलकर को 18 दिसंबर

2023 को आईआईटी खड़गपुर से विशिष्ट पूर्व छात्र पुरस्कार ।

- एस टी अरुणा ने इंडियन सिरेमिक सोसायटी, सीजीसीआरआई, कोलकाता की ओर से औद्योगिक उत्कृष्टता के लिए प्रो. ससाधर रे मेमोरियल पुरस्कार, - 19 दिसंबर 2023
- एस. सेंथिल कुमार को इंडियन सिरेमिक सोसाइटी, बेंगलूरु चैप्टर, 2024, आईपीसी विभाग आईआईएससी, बेंगलूरु, से प्रोफेसर केसी पाटिल यंग अचीवर (Young Achiever) अवार्ड -19 जनवरी 2024
- डॉ के. शिव कुमार को 25-08-2023 को एयरोस्पेस इंजीनियरिंग के क्षेत्र में उत्कृष्ट प्रोफेशनल और अनुसंधान उपलब्धियों की मान्यता में इंस्टीट्यूट ऑफ रिसर्चर्स से "सी वी रमन पुरस्कार 2023"।
- डॉ नवीन वी को 27 जून 2023 को इंस्टीट्यूट ऑफ रिसर्चर्स, केरल, भारत से रिसर्च एक्सीलेंस पुरस्कार।
- डॉ. हेमा सिंह को 29 फरवरी - 3 मार्च 2024 के दौरान विशाखपट्टणम में आयोजित IEEE WAMS2024 में इंजीनियरिंग में महिलाएं, कैरियर उत्कृष्टता पुरस्कार।
- डॉ. मृदुला जी को 8 सितंबर 2023 को केरल के राज्यपाल श्री आरिफ मोहम्मद खान से विमला कॉलेज का प्रतिष्ठित एक्सेलसिया पुरस्कार।

इसके अलावा, हमारी प्रयोगशाला में कई वैज्ञानिकों ने अनुसंधान और एसोसिएशन फेलोशिप प्राप्त की है, जिन्हें विषय विशेषज्ञों, प्रतिष्ठित समाज/संस्थानों/अध्ययन बोर्ड/ अभ्यास के प्रोफेसरों के सदस्यों/वरिष्ठ सदस्यों के रूप में पहचाना गया है, अन्य व्यक्तिगत/ समूह पुरस्कार जीते हैं, संपादकीय बोर्ड के सदस्यों के रूप में नियुक्त किए गए हैं। और राष्ट्रीय और अंतर्राष्ट्रीय पत्रिकाओं के समीक्षकों को सर्वश्रेष्ठ पेपर पुरस्कार आदि प्राप्त हुए। मैं उन सभी को उनकी सफलता पर बधाई देता हूं। सीएसआईआर-एनएएल की सभी उपलब्धियों के लिए, मैं अनुसंधान परिषद के सदस्यों, सीएसआईआर-एनएएल की प्रबंधन परिषद, डीजी-सीएसआईआर और सीएसआईआर मुख्यालय, नई दिल्ली के कर्मचारियों के समर्थन और सहयोग को स्वीकार करना और ईमानदारी से धन्यवाद देना चाहता हूं। मैं हमारे विभिन्न हितधारकों से प्राप्त समर्थन को भी स्वीकार करता हूं; डीआरडीओ, इसरो, DGCA, ADA, HAL, एयर मुख्यालय, ARDB, DST, DAE, रक्षा सेवाएं, MoES, IMD, एमओसीए और अंतरराष्ट्रीय निकायों सहित अन्य को हमारी क्षमताओं में हम पर विश्वास रखने और कई अनुसंधान – विकास परियोजनाओं को प्रायोजित करने के लिए धन्यवाद। सभी उपलब्धियाँ इन एजेंसियों के प्रयासों, सहयोग, सलाह और दिखाए गए विश्वास के कारण संभव हो पाई हैं। अंत में, मैं सीएसआईआर-एनएएल के सभी वैज्ञानिकों, तकनीकी अधिकारियों और प्रशासनिक कर्मचारियों को संगठन के विकास के लिए उनकी निरंतर प्रतिबद्धता के लिए धन्यवाद देना चाहूंगा ।

अभय ए पाशिलकर
निदेशक

Report of the Director

As CSIR celebrated the nationwide "One Week One Lab" program unveiling its remarkable research outcomes and accomplishments, CSIR-National Aerospace Laboratories (CSIR-NAL) also successfully conducted the program besides continuing its contribution to shaping a better India with its impact in the field of Aerospace Science and Technology. During the year 2023 – 24, CSIR-NAL expanded its in-house knowledge base, successfully developed and commercialized several technologies, supported new startups and fortified the aerospace human resources in the country.

It is my pleasure to present the Annual Report of CSIR-NAL for the year ending 31 March 2024. This is a compilation of the key achievements of our laboratory towards the upliftment of Science and Technology across various PAN India sectors. I take this opportunity to recognize the hard work and dedication of the entire CSIR-NAL family for bringing out this annual report.

Major Highlights

The year 2023 – 24 witnessed the successful flight of the sub-scale model of High Altitude Platform Subscale (HAP-SS), a testimonial to the knowledge base and commitments of the CSIR-NAL team. Some of the prominent achievements of CSIR-NAL include the timely completion of the Regional Transport Aircraft – Project Definition Phase, handing over of the Type Certification of Hansa–3(NG) to CSIR-NAL during the CSIR Foundation Day celebration and significant progress in SARAS Mk II program and many ToTs to private industries and PSUs.

Having overcome all the technological hurdles in the major flagship programs of CSIR-NAL, the present year witnessed the demonstration of CSIR-NAL's indigenous technologies at various forums. Major events, where CSIR-NAL showcased its technologies, were the One Week One Lab event in Bengaluru, the CSIR Foundation Day celebration in New Delhi, the Aeronautical Society of India`s International Conference in New Delhi and Wings India 2024 in Hyderabad. High profile dignitaries visited CSIR-NAL's stall. The India-centric technology development efforts of CSIR-NAL were appreciated by all the visitors. A few of the prominent personalities among the visitors were Hon. President of India, Hon. Minister of Science and Technology, the Principal Scientific Adviser to the Prime Minister and the Director General, CSIR.

Handing over of the Type Certificate to CSIR-NAL by DGCA on 26 September 2023 during CSIR Foundation Day

Honorable President of India along with DG, CSIR at CSIR-NAL's Pavilion

Honorable Minister of S&T along with DG, CSIR

Principal Scientific Adviser to Prime Minister along with DG, CSIR

Contributions to the Civil Aviation Sector

Significant progress was made in the flagship programs of CSIR-NAL in the Civil Aviation Sector. The year witnessed achievements of historic milestones in the Hansa–3(NG), SARAS Mk II, Regional Transport Aircraft (RTA) and High Altitude Pseudo Satellite (HAPS) programs. Apart from System-of-System level technology development, the lab also made critical breakthroughs in developing in-house enabling technologies critical to the aviation sector. Besides, CSIR-NAL also showcased the research efforts in products, processes and technology developments in various national and international events to increase the outreach of these efforts to the end user communities. This section gives a bird's eye view about these achievements during the year 2023 – 24.

Hansa-3(NG)

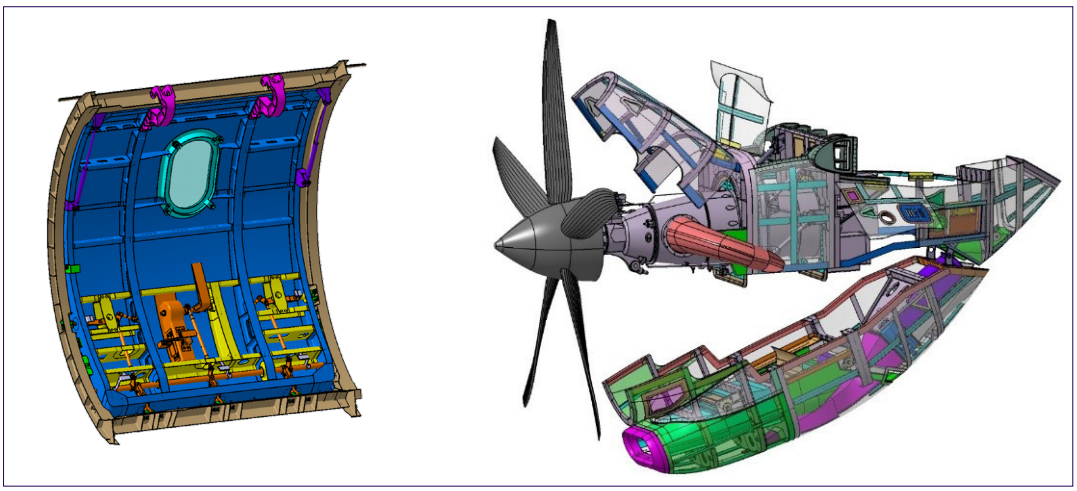
CSIR-NAL made exceptional progress in the indigenization efforts for the NAVCOM system for Hansa – 3 (NG). Based on the Critical Design Review (CDR), NAVCOM Proto-2 was realized. Power ON and system testing are in progress for verifying and validating the system specification. On the structures front, design optimization studies, composite airframe parts production, full-scale airframe fatigue testing and nose landing gear static strength tests were carried out. The propulsion division has played a significant role in the development of an indigenous propeller for Hansa-3(NG). Detailed aerodynamic and mechanical analysis of the designed propeller was completed to ascertain the design intent. The fabrication drawings were developed and propeller components like hub and pitch change mechanism were realized.

Indigenous NAVCOM unit of Hansa-3(NG)

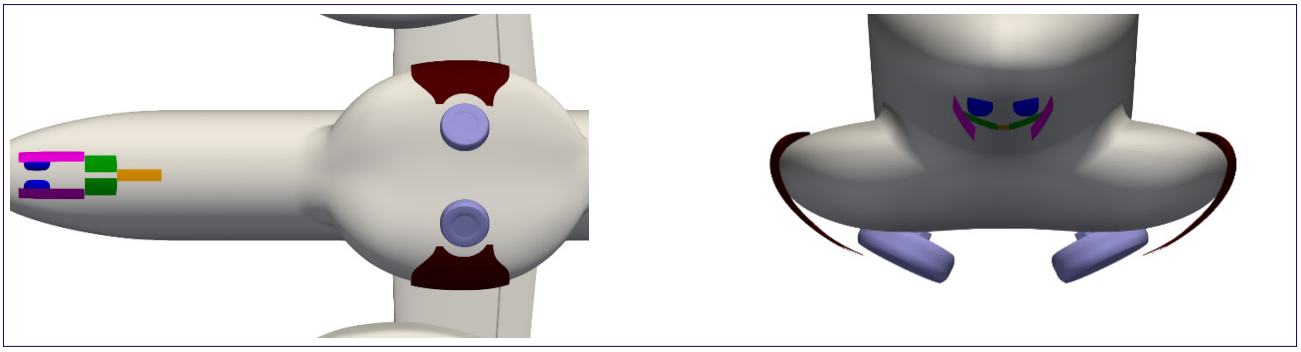
SARAS Mk II

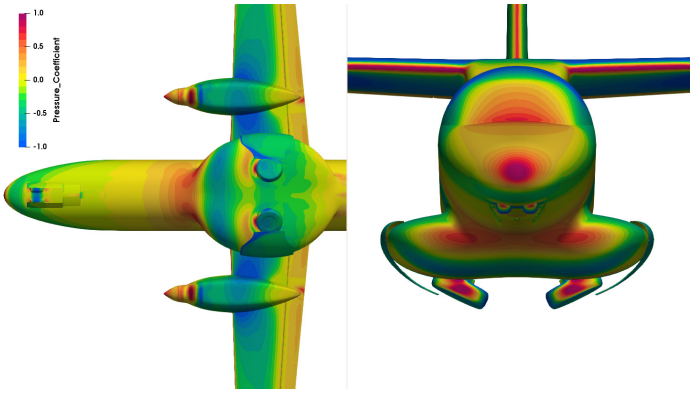
Detailed design of the wing, vertical tail, horizontal tail and control surface structures were carried out including the most challenging external tool design. For fuselage and engine mount design, several key activities were carried out. Computation of additional critical loads and structural analysis of fuselage for multiple roles like Casevac, VIP, Cargo, design and analysis of cabin doors, nacelle and engine mount were completed. Computation of engine mount loads, generation of fatigue load spectrum, and pursuing the detailed design activities of the fuselage with the engineering service provider were also completed. Fatigue behavior experiments were conducted on Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP)/Copper mesh composite materials intended for lightning strike protection.

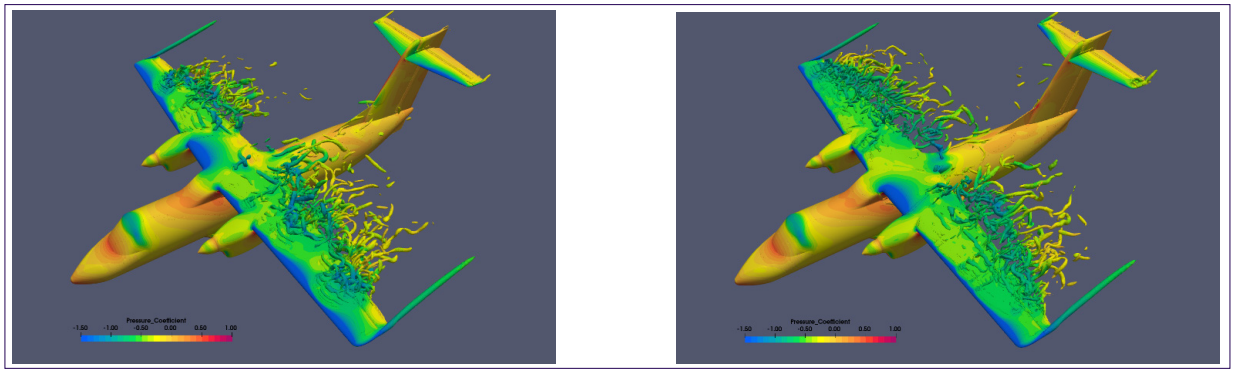
High-fidelity Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation of the latest Numerical Master Geometry (NMG) of the SARAS Mk II, tractor version was carried out using an open-source CFD framework with in-house customization for generating an aerodynamic database for additional operational scenarios. CFD analysis was done for basic aerodynamics at flight and cruise aerodynamic conditions, various control surface deflections for control power and hinge-moments estimation, power effects, local flow angularity studies to firm up the angle of attack vane location, and aircraft with partial landing gear door open positions. Delayed Detached Eddy Simulation (DDES) with 140 million grid points was also carried out to study the fluid dynamics and stall features in the vicinity of the aircraft in flight with higher inclination (angle of attack) to the flight path.



CAD models of cargo door and nacelle







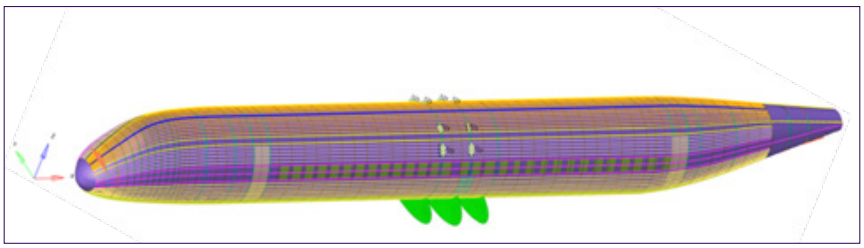
High-fidelity numerical simulation of flow past SARAS Mk II in different modes of flight

The Open-Air Engine Test Bed has been set up in the Propulsion Division to carry out the performance and functional tests of various subsystems, Line Replaceable (LRU's) and engine control systems of SARAS Mk II power plant comprising of PT6A-67A engine and composite MT Propeller in tractor configurations. One of the major landmarks was the completion of the engine ground run at 80% torque and for the 15% reverse torque operations along with the over-speed governor check. This operation was accomplished with the indigenously developed two-lever throttle control box. Major milestones completed for the primary distribution unit in the electrical system of SARAS Mk II are electrical load test up to a current rating of 320/300 A at 23% of engine torque, performance evaluations of indigenously developed lithium-ion batteries for the three consecutive engine starts and 8 consecutive engine starts for the effective validation of Li-polymer battery cart.

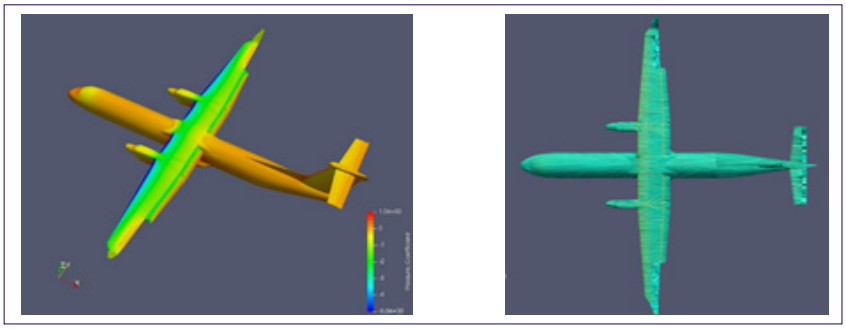
Regional Transport Aircraft (RTA)

Structural design, analysis and optimization of the RTA-90 fuselage were carried out. Fuselage weights, thicknesses, fuselage-wing reactions, deflection contour, stresses, failure indices and buckling eigenvalues were estimated including the fatigue load spectrum.

Extensive numerical simulation of a full-scale model of RTA was carried out during the year using an open-source high-fidelity CFD framework. Longitudinal and directional stability derivatives from the CFD simulations were used to size the vertical and horizontal tails. A detailed flow analysis helped to identify regions of strong separation and design aerodynamically efficient nacelle,

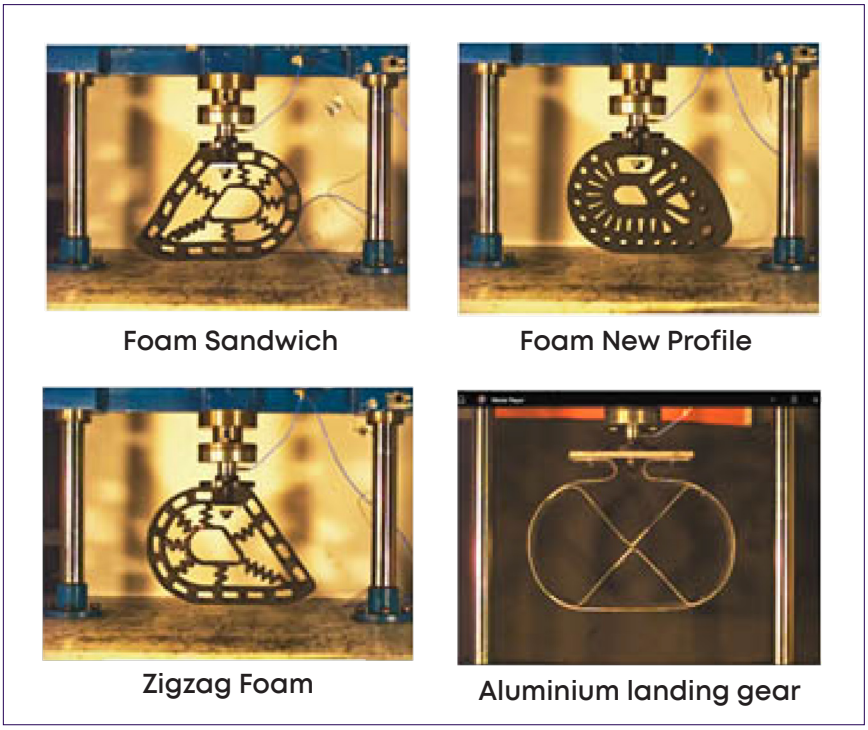


Finite Element model of RTA



Numerical flow visualization of flow past full scale RTA with extended flaps (during landing)

Full-scale mock-up of RTA



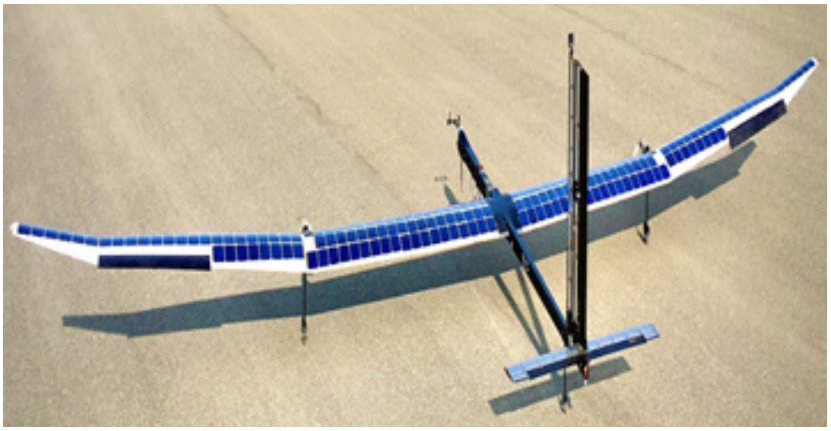
Low velocity impact testing of various landing gear configurations of HAP SS

winglet and fairings regions. Full-scale RTA geometry with all the control surface gaps was studied. The aerodynamic characterization of the final version, which included control power, hinge moment, flap effect as well as power effects was carried out. Numerical flow visualization using surface pressure distribution and streamline patterns on the RTA-90 aircraft with a 35° flap were also carried out.

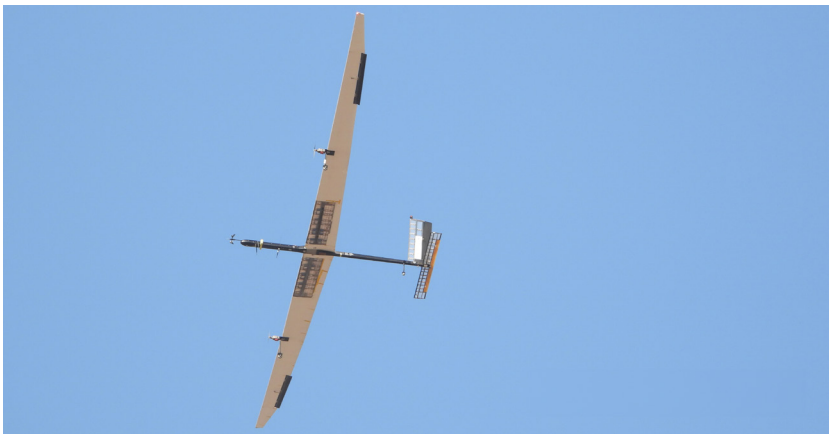
A realistic RTA cockpit mock-up was realized during the year. The mock-up was equipped with many novel sub-systems that were envisaged for RTA. Advanced displays & suite of communications, navigation and surveillance equipment integrated with new-generation avionics will provide a superior flying experience. Further, the Fly-By-Wire part of the cockpit with active inputs from FCS panels and switches, joysticks, throttle box, flap controls and rudder pedals and avionics controls will give a real life handling quality feel to the pilots. The cockpit included controls for aircraft subsystems such as power plant, pressurization and ECS, electrical, life support, de-icing/anti-icing systems, etc. It was also equipped with an electronic flight bag for the display of useful aircraft data and to perform basic calculations such as performance, weight and balance, fuel calculations, etc. The Propulsion Division developed a Cabin Air Compressor (CAC) as part of the RTA Project Definition Phase.

High Altitude Pseudo Satellite (Full Scale – HAPS and Sub Scale - HAP SS)

The design and analysis of the wing and Horizontal Tail (HT) were successfully completed for critical load cases and validated through static strength tests. Flutter and gust response analysis of HAP SS and control derivatives of control surfaces were predicted. An in-house energy absorption skid was developed.



Sub scale HAPS on the runway before take-off



Airborne HAP SS

In-house design, development & off-line testing and efficient Energy Management and Power System (EMPS) were carried out for HAP SS. The solar photovoltaic (PV) based energy generation system was installed on the HAP–SS airframe. The prototype was tested on ground at CSIR-NAL and then flight tested at Aeronautical Test Range (ATR), Chitradurga, successfully. The power system functioned well and met its design objectives. The EMPS system equipped with solar PV, enabled the aircraft to clock over 8.5 hours of flight endurance. During the flight-tests, a maximum altitude of about 3000 m was achieved. The system has successfully withstood the rigors of the flight tests including high climb and descent rates due to thermal currents and gust winds.

CSIR-NAL's in-house knowledge base on CFD was employed to study the aerodynamics of HAP SS in various flight conditions with extended aileron and its stability and control characteristics for near-ground conditions. The cushioning effect and bouncing vortex interaction with the elevator and its implication on the effectiveness of the primary and secondary control surfaces were studied. Similar studies were also carried out on the full-scale wing of HAPS.

One of the key highlights of the HAPS program is the continuous improvisation of the Software-in-loop simulator (SILS) facility. Before the fight tests, SILS was used to train the UAV pilots and prepare

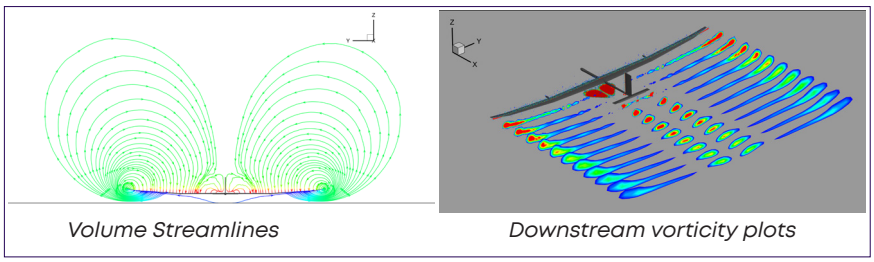
them for the flight tests. After the flight tests, the experimental observations captured during the testing were compared with the simulation results and the simulation model was updated.

Unmanned Aerial Vehicle

The flight tests of the Q-plane were conducted during January-March 2024. Various modes like autonomous take-off, transition to fixed-wing mode, autonomous navigation mode, transition to landing mode and autonomous landing were validated during these flight tests. It is proposed to demonstrate the Q-plane to the potential end users. Continuing its legacy, the Octacopter carried out its society-oriented missions. Customization of the platform to carry a 10 kg payload and an endurance of 30 minutes was completed and demonstrated during this year. The first mission flight was conducted in the Bhandewadi dumping yard in Nagpur, wherein the octacopter flew a sampler, traveled a distance of 200 m and collected samples from a leachate pond while hovering over the water body.

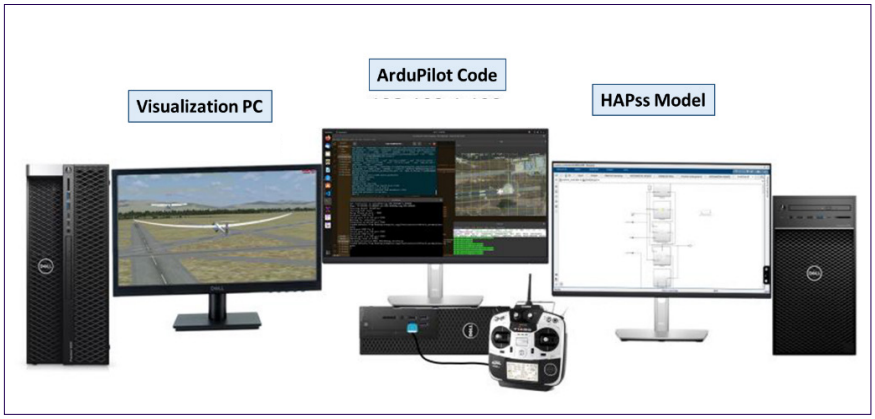
Contributions to the Strategic Sector

CSIR-NAL continued its patronage to the Strategic Sector of India. CSIR-NAL has been very active in the design and fabrication of LCA Mk 1A and Mk 2 composite parts along with internal and external tooling development. It is a matter of pride that the Transfer of Technology (ToT) agreement for Bismaleimide (BMI) Resin engine bay door for the series production of LCA-Tejas Mk 1A has been signed with Hindustan Aeronautics Ltd. Design and development of in-board pylon fairing for LCA to the criteria of electromagnetic (EM) performance in the 'X' band has been taken up. Further, the development of a flaperon test box for a combat aircraft was initiated to demonstrate the feasibility of co-curing large primary structures with intelligent tooling concepts. CSIR-NAL has also designed and developed the complex composite parts of 1:8.2257 scale LCA AF Mk 2 model for air intake studies in a challenging way. The development of test box and air intake-duct assembly with co-cured hybrid composites has progressed well for the Advanced Medium Combat Aircraft (AMCA) program.



Volume Streamlines *Downstream vorticity plots*

Numerical simulation of ground effects on HAP SS model



SILS of HAPSS

CSIR-NAL's National Trisonic Aerodynamic Facility division has continued its research efforts to support the strategic sector by completing 2270 blowdowns in the 1.2 m (1225 blowdowns) and 0.6 m (1045 blowdowns) trisonic wind tunnels during the year. Organizations such as DRDO and ADA were immensely benefited due to the various experimental investigations carried out during this year on various missile and combat aircraft configurations. Apart from the force/moment/pressure measurements, special test techniques such as hinge moment measurement on the control surfaces of various missile configurations and special rigs such as grid-based trajectory system (GTS) were deployed to study the store separation from the parent combat aircraft.

Structural design and analysis of the radome composite structure and associated parts of LCA AF Mk 2 AESA radar has been completed, successfully with CDR. Detailed analysis and CAD modeling of AMCA FSS Radome has made significant progress. Static strength testing of LCA AF Mk 2 quartz radome is in progress. Various coupon-level mechanical tests including static & fatigue were conducted to explore the suitability of advanced composite materials for AMCA. A series of tests were conducted on the flaperon test box of AMCA to qualify for flaperon internal structures, joints and other design features. Static strength testing of Frequency Selective Surface

(FSS)-based planar GFRP laminate proposed to be used in AMCA was carried out. As a part of damage tolerance evaluation, the growth behavior of a crack in a nickel-based superalloy under a turbine standard load sequence was determined by experimental, analytical, and computational methods. Static tests were conducted on the stealth wing flying test bed UAV, nose landing gear and main landing gear. CSIR-NAL has continued its support for the life extension of AN 32-wheel hub and other components. The dynamic characteristics of major aircraft platforms of IAF such as Su-30MK I, Mirage 2000 and Jaguar aircraft integrated with various advanced stores were generated for 46 operational configurations through ground vibration testing (GVT).

Combat aircraft simulation facilities were extensively utilized to assess control laws for LCA and AMCA. A PXI-based Data Acquisition System was designed, developed, procured, and integrated into the Distributed Engineer in Loop Simulator (DELS). The DELS facility was also utilized for pilot evaluations of Synthetic Vision Systems consisting of 3D terrain and Tunnel-in-the-Sky symbology. The LCA Naval aircraft successfully conducted landings and take-offs (trap/ski-jump) on the Indigenous Aircraft Carrier INS-VIKRANT. The first flight of the Mk 1A aircraft with an upgraded Digital Flight Control Computer (DFCC) and mission computer was successfully conducted in March 2024. Evaluation of Control Laws for take-off of LCA Mk 2 commenced with pilots in the loop.

CSIR-NAL continued its research efforts on the development of various algorithms for multi-target tracking/fusion using onboard sensors such as Infrared Search & Track (IRST), Missile Approach Warning System (MAWS), Radar, and Radar Warning Receiver (RWR) for LCA Mk 2 and AMCA aircraft programs. In this context, a multi-target tracking algorithm for MAWS was developed and angle-only target tracking of aerial targets and homing missiles was conducted using a Global Nearest Neighborhood (GNN)-based multi-target tracking algorithm. Five missile guidance laws were developed in the simulation environment. Target tracking algorithms were validated for homing missiles with these guidance laws using the real datasets from DRDO.

Contributions to the Space Programme

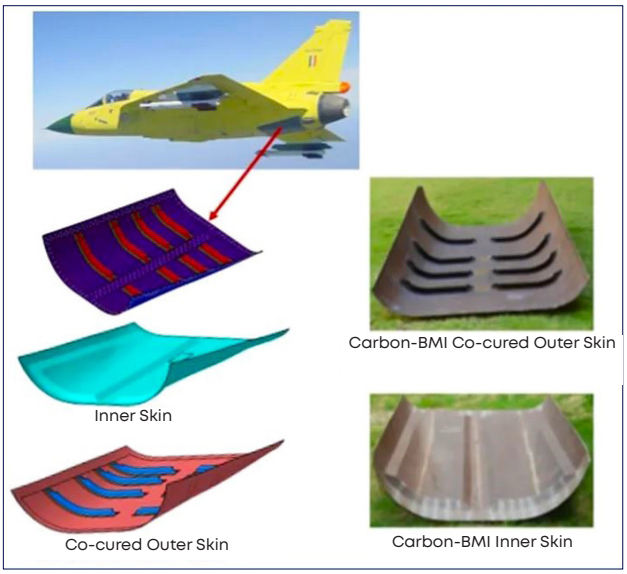
During 2023-24, CSIR-NAL contributed significantly to India's space programs. CSIR-NAL provided excellent support in the developmental and flight hardware acoustic qualification of the stages and subsystems of ISRO's current fleet of launch vehicles. CSIR-NAL completed the acoustic qualification of the Gaganyaan Test Vehicle – Crew Escape System. Acoustic tests were performed on the inter-stage of a small satellite launch vehicle, manufactured by a private firm, M/s. Agnikul Cosmos. CSIR-NAL also tested and qualified the L40 Avionics Deck of GSLV-Flight 14 and LVM3 C32 inter-tank stage.

As part of the aeroelastic clearance activities for the Gaganyaan launch vehicle configurations, the estimation of the transonic buffet on the Test

Q-plane during flight test

Octacopter hovering over leachate pond

CSIR-NAL's UAV platforms in action



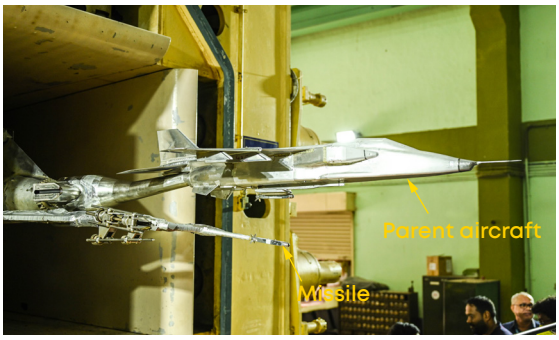
Engine Bay Door Assembly for LCA-Tejas

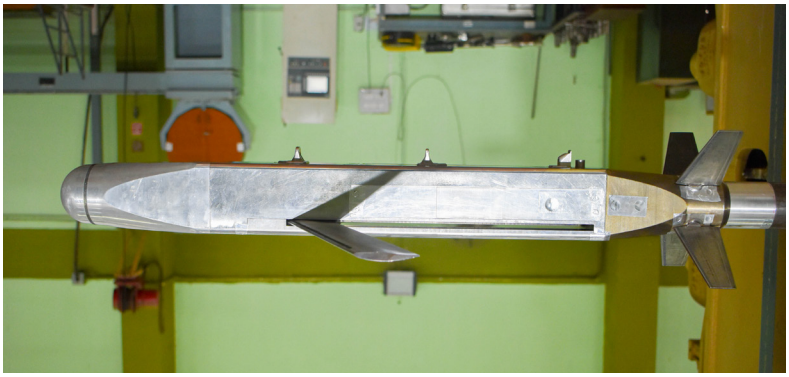
Exchange of ToT agreement between HAL and CSIR-NAL

Vehicle, Human Rated Launch Vehicle-Gaganyaan and GSLVM 3 configurations and transonic flutter studies of the grid fin on the crew escape system were carried out.

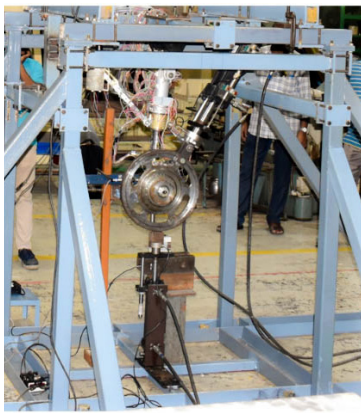
A series of vibration qualification tests were carried out on the first flight model of 60 kg class microsatellites to evaluate the structural performance of microsatellites under flight-level (Proto-flight) environmental conditions, particularly quasi-static and dynamic scenarios.

During 2023-24, CSIR-NAL performed a detailed experimental investigation on the human-rated launch vehicle and crew module for ISRO's Gaganyaan program. The aerodynamic characterization was also carried out for a launch

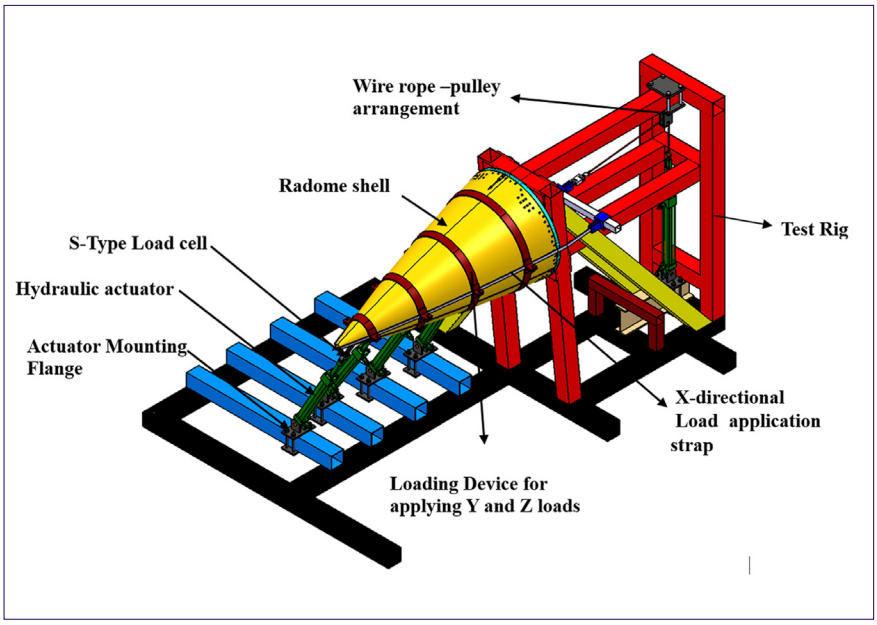




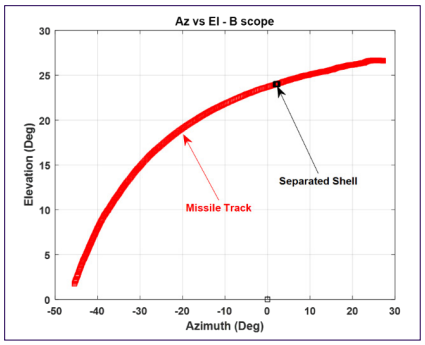
A Photograph of human rated launch vehicle model mounted in 1.2 m tunnel



Static test of landing gear of SWiFT UAV



Static strength test rig of quartz radome



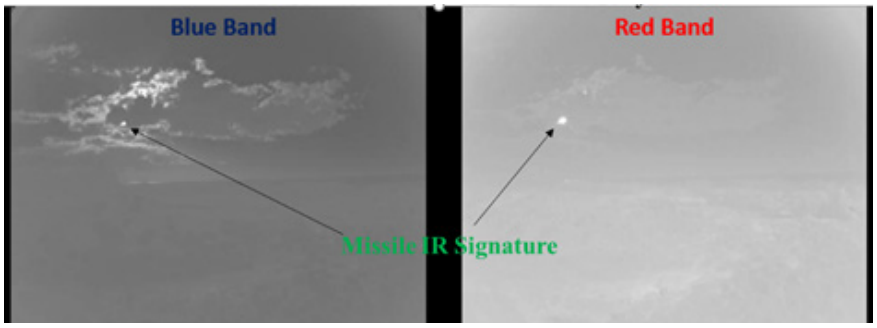
Prediction of missile angular track for Akash SAM test at Suryalanka using in-house algorithm

vehicle configuration designed and developed by a private firm, M/s. Skyroot Pvt. Ltd.

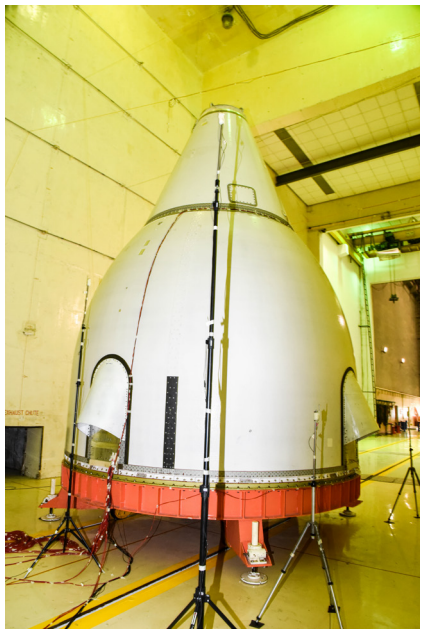
The Propulsion Division experimentally evaluated the ISRO-VSSC Dual Fuel Scramjet (DFS) Combustor for vitiated air mass flow rates 6.6 - 11.0 kg/s and total temperature 1550-1700 K at Mach 2.25 conditions.

Contributions to Special Materials and Coatings

CSIR-NAL has made substantial contributions in the area of special materials and coatings. The carbon-fiber R & D activities were concentrated on the synthesis of the precursor polymer with appropriate molecular weight and distribution. The effects of process parameters such as activator/initiator ratio and initiator concentration were



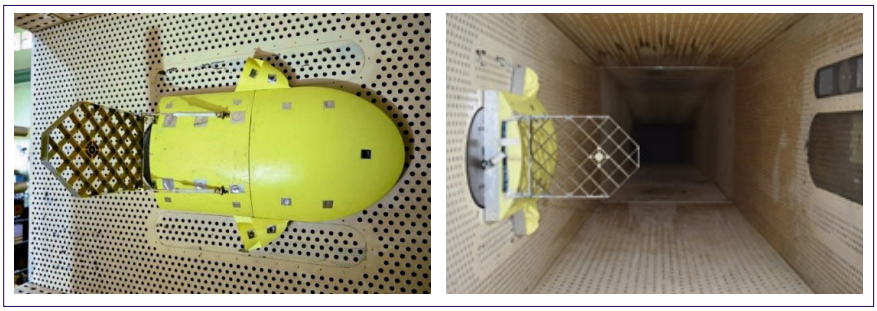
Missile IR signature captured in the blue and red band of MAWS camera unit



Gaganyaan Test Vehicle Crew Escape System under Acoustic Test at CSIR-NAL

GSLV (F14) -L40 SONC Acoustic Test

Human-rated launch vehicle model mounted in a 1.2 m tunnel



Transonic flutter studies of the grid fin on the crew escape system

investigated in the free radical aqueous slurry polymerization process. Polyacrylonitrile (PAN) copolymer with bulky comonomers was synthesized to get preferential molecular architecture for precursor polymer. After dissolution in the suitable organic solvent, a polymer was subjected to multiple stages of fine filtration before extrusion into the coagulation bath. The filtration equipment and dope transfer line in the fiber spinning area were upgraded to ensure gel-free spinning dope for uninterrupted continuous fiber spinning. Precursor fibers with more circular cross-sectional uniformity were obtained. Various process studies were conducted to stabilize and pre-carbonize the carbon fibers under various thermal regimes with different stretch ratios. Indigenization efforts have been undertaken with private industry to develop carbon fiber sizing. Aerospace-grade epoxy resin has been formulated and evaluated at a lab scale. Indigenous multifunctional epoxy resins and hardeners have been used for resin formulation, and their properties have been tested. They exhibited dry glass transition temperatures in the range of 206-215°C and wet Tg ≈ 160°C.

Failure analysis and accident investigation at the CSIR-NAL has been a continuing activity for the past five decades and has brought laurels to CSIR-NAL. This activity has been catering to the needs of the Indian Air Force, Indian Navy, Hindustan Aeronautics Limited, DRDO Laboratories and Aircraft Accident Investigation Bureau (AAIB) of the Ministry of Civil Aviation (MoCA). In 2023-24, 27 investigations involving aircraft incidents/accidents were investigated. In most cases, the primary cause(s) of the incident/accident was identified and recommendations were suggested for prevention.

A study on the creep behavior with the accumulated residual stress for a defined time and temperature up to 200 h was carried out for nickel-base superalloy IN718. Since the combustion chamber and outer casing of an aero engine experience a temperature in the range of 550°C to 700°C, creep tests were conducted in this range to study the effect of residual stress on the creep life. The study revealed that residual stress plays a significant role in reducing the chance of failure of an aero engine.

Over the past 2 decades, CSIR-NAL has developed technologies for processing carbon fiber and C_f/SiC composites. Under a program aiming to use these in-house technologies, a developmental activity has been taken up to manufacture C_f/SiC brake disc intended for applications in CSIR-NAL's aircraft program. C_f/SiC

composites were developed via the chemical vapor infiltration (CVI) process and coupon-level specimens were fabricated and characterized. Properties were on par with values found in the literature. Subsequently, C_f/SiC stator and rotor discs were fabricated and subjected to dynamometer tests. CSIR-NAL is also developing continuous fiber-reinforced ceramic matrix composites (CMCs) by isothermal-isobaric CVI (I-CVI) process. CMCs such as carbon fiber reinforced silicon carbide matrix (C_f/SiC) composites are better candidates for various high-temperature applications due to high specific strength, high specific modulus, high fracture toughness (≥20 MPa.$m^{1/2}$) and high erosion-wear resistance. They are also better candidates for advanced (fourth generation) aircraft brake disc applications due to their stable coefficient of friction relative to humidity/temperature change and superior high-temperature mechanical properties and oxidation resistance compared to C/C composites. The hybrid process involving I-CVI combined with liquid silicon infiltration (LSI)) approach is being pursued for making C_f/SiC composites with reduced manufacturing time/cost (40-50%). Under the industry-sponsored project, C-C composites prepared through film boiling CVI and other solution routes supplied by M/s. Azista Composites Private Limited (ACPL), Hyderabad were further densified with CVI-derived silicon carbide (SiC) matrix followed by SiC-CVD coating to improve mechanical properties and oxidation resistance.

As an exploration of waste-to-wealth conversion, the waste resource of rice husk was converted to an engineered material of silicon nitride through the intermediate formation of amorphous silica. The

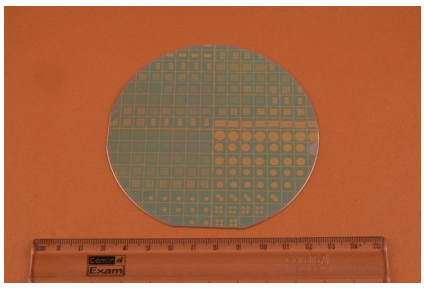
Photograph of PVDF accelerometer devices handed over to ADA for LCA

electromagnetic (EM) analyses indicate the suitability of rice-husk-derived silicon nitride powder for high-temperature radome application.

CSIR-NAL has been working on the development of smart and functional materials for sensing and actuation applications since almost two decades. In the mission mode project on aerospace materials, the compatibility of low-temperature co-fired ceramics (LTCC) integrated with lead zirconate titanate (PZT) tape using electrode paste was carried out in collaboration with CSIR-CEERI. Excellent bonding was observed after curing. The poling of the PZT plate integrated into LTCC supplied by CSIR-CEERI was successfully carried out at CSIR-NAL and characterized. The initial results are encouraging.

CSIR-NAL has been at the forefront of developing Polyvinylidene fluoride (PVDF) accelerometer devices. The results of these devices have been compared with a standard MEMS accelerometer, the PCB 3711B1130G. Accelerometer devices have been modified to reduce the size from 20 mm diameter to 12 mm diameter and height from 25.4 mm to 17 mm as per Aeronautical Development Agency (ADA) requirements and five such devices were handed over to ADA for testing in LCA.

Considering the Technological Readiness Level of the process developed at CSIR-NAL, "A



Indigenously developed SOI wafer (Φ=4 inch) with piezoelectric thin-film coating

Center of Excellence for Piezo MEMS Transducers" has been established at CSIR-NAL for the first time in the country under the Technology Development Transfer Scheme from DST, aiming to convert the process know-how to technology for the production of qualified piezo thin film wafers. These wafers are required to meet the Country` s need for making the Piezo MEMS products for defence, aerospace and biomedical applications.

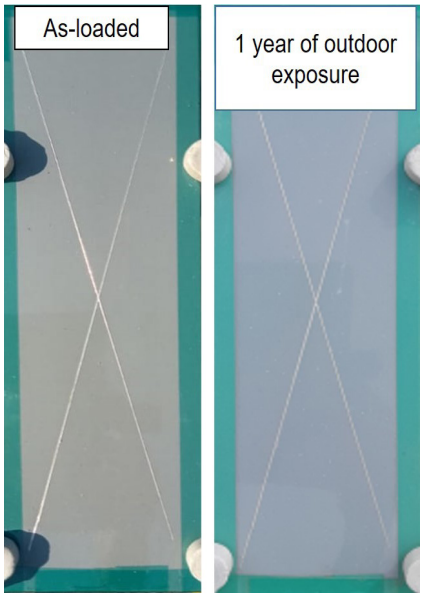
With respect to coating activities, CSIR-NAL had a successful year achieving significant milestones in technology transfer, certification and functional coatings development for the aerospace sector. Upon approval of eco -friendly Tartaric Sulfuric Acid Anodization (TSA) process by DGCA and QAAD (CSIR-NAL), the process has been implemented on the Hansa-3(NG) components. License agreements have been signed with industries for Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) single-cell technology and NALSUN-NG coating. The division specializes in developing advanced sensor technologies for the automobile and aerospace industries.

Towards the implementation of the eco-friendly Tartaric Sulfuric Acid Anodization (TSA) process as a replacement for carcinogenic Chromic Acid Anodization (CAA) in HANSA aircraft, a modification leaflet (NAL/MOD/Hansa-3/048) was submitted by CSIR-NAL to

DGCA. Further to the approval from DGCA and QAAD (CSIR-NAL), the TSA anodization process has been initiated on the Hansa-3(NG) components. CSIR-NAL is pursuing the certification of the chromate-free three-layered aircraft coating system consisting of a Cr^{6+}-free anodic layer, a chromate-free primer layer and the polyurethane (PU) topcoat. In this regard, extensive studies were performed on sealed TSA anodic layer with different commercially available chromate-free primers and the topcoat currently used in the in-house aircraft programs of CSIR-NAL. Among the different chromate-free primers that were tested for a series of tests such as adhesion, solvent resistance, fluid resistance and neutral salt spray resistance, the performance of one of the commercial primers was found to be superior to the rest of the primers. In particular, three-layered systems with a primer under discussion endured more than 2500 h of neutral salt spray test (ASTM B117) and 1 year of outdoor exposure at the seafront of Mandapam, Rameshwaram, Tamilnadu.

In an industry-sponsored project, a Spin valve (SV) Giant magnetoresistance (GMR) device with longitudinal biasing (LB) was used to achieve hysteresis-free and symmetric linear response in MR systems. This biasing was realized using a sputter-deposited 600 nm CoCrPt thick film permanent magnet (PM). This integration of PM on the SV sensor stack resulted in reducing the hysteresis from 3 Oe to 0.4 Oe in the transfer curve.

CSIR-NAL has developed a thermal insulation paint coating on aluminum alloy (AA) 2024 and carbon fiber reinforced polymer (CFRP) substrates for the CSIR-NAL developed SARAS PT1N aircraft to encounter the undesired heating of the fuselage and adjoining



Photograph of the as-loaded and 1-year outdoor exposed three-layered coating system

areas of the aircraft caused by the exhaust plume from the engine. A pre-production clearance certificate of the thermal insulation paint coating was obtained from RCMA, CEMILAC.

Under the aerospace materials and coatings mission mode project, durable polyurethane-based superhydrophobic coatings; and PVDF-based transparent superhydrophobic and anti-icing coatings have been developed. Another noteworthy study was on the wind tunnel studies of superhydrophobic coating. The measurements suggest that the superhydrophobic coating causes a delay in the transition of the boundary layer leading to reduced skin friction.

Contributions to the Societal Sector

JALDOST is developed and commercialized by CSIR-NAL in line with the national missions like Namami Gange, and Jalshakthi of Government of India. A good opportunity exists to scale up for domestic needs and opportunities to export this product to neighbouring and South Asian countries where an enormous market exists for this product. After satisfactory testing at Ulsoor lake, Bengaluru and Manchanabelle Reservoir, Mandya district, JALDOST was launched as a product of CSIR-NAL during the curtain raiser event of One Week One Lab (OWOL) campaign of CSIR-NAL in August 2023. JALDOST product launch attracted the attention of media and was published in many leading newspapers.

After spreading the news of JALDOST product launch, Kannamangala panchayath located in the outskirts of Bangalore has approached CSIR-NAL to clean their dying lake which was their fresh water source. The private partner M/s. Srivari Engineering Systems Pvt. Ltd., immediately deployed the JALDOST and removed tons of weeds and garbage from the water spreading over acres. Thus, JALDOST has proven its capacity and usefulness to society for the rejuvenation of freshwater bodies.

R&D Performance Indicators and Technology Licensing

CSIR-NAL recorded an exceptional jump in its Research and Development Key Performance Indicator (KPIs) and commercialization of its Swadeshi technologies and products. This year a total of Rs. 351.65 Crore CSIR grant (excluding central administration grant of Rs. 116.00 Crore) was allocated by CSIR for the laboratory. Out of the CSIR total grant, allocation towards R&D projects was Rs. 95.07 Crore for projects under SARAS Mk II, Hansa- 3 (NG), TD-High Altitude Pseudo Satellite (HAPS), Project Definition Phase of Regional Transport Aircraft (PDP - RTA), Major Laboratory Projects (MLP),

Focused Based Research (FBR), Niche Creation Projects (NCP), Fast Track Translational (FTT), Mission Mode Projects and Fast Track Commercialization (FTC) projects.

CSIR-NAL was awarded with 21 new sponsored projects costing Rs. 44.05 Crores, and 5 grant-in-aid projects costing Rs. 4.43 Crores during the financial year 2023-24 from external agencies. The LRF generation during the year was Rs. 71.52 Crore and incurred expenditure of Rs. 17.96 Crore.

On the licensing of the Intellectual property/knowledgebase during the current year, CSIR-NAL witnessed licensing of seven technologies to nine industries with a cumulative license fee of about Rs. 5.86 Crore. Further in the current year, total value of orders received by ToT partners stood at Rs. 14.20 Crore on the value of orders received by ToT partners.

During the year, the laboratory has signed 50 MoUs / NDAs with external agencies (44 national and 6 foreign). The year witnessed an increase in IP portfolio as 9 new patent proposals (8 Indian & 1 Foreign) were submitted. During the year, a total of 19 Indian patents and 1 Foreign patent were granted. In addition, 1 copyright and 1 Trademark were also granted.

CSIR-NAL also witnessed commendable AcSIR achievements during 2023-24. During the year 2023-2024, 10 students have been admitted. 3 students have completed Pre-thesis open colloquium and 3 students were awarded the Ph.D degrees.

Honors and Awards

On the honors and awards front, the year 2023-24 was exhilarating for the laboratory. The major achievements are:

- Dr S B Verma received an award by Honorable Raksha Mantri Shri Rajnath Singh for outstanding contribution towards ARDB -DRDO projects at the DRDO Academia Conclave, DRDO Bhawan, New Delhi on 25 May 2023
- Dr. Abhay A Pashilkar received the Distinguished Alumni Award from IIT Kharagpur on 18 December 2023
- Dr. S.T. Aruna received the Prof. Sasadhar Ray Memorial Award for Industrial Excellence from the Indian Ceramic Society, CGCRI, Kolkata, 19 December 2023
- Dr. S. Senthil Kumar received the Prof. KC Patil Young Achiever Award from the Indian Ceramic Society, Bangalore Chapter, IPC department, IISc, Bangalore, 19 January 2024
- Dr. K. Siva Kumar received the C V Raman Prize 2023 from the Institute of Researchers in recognition of outstanding professional and research achievements in the field of aerospace engineering on 25 August 2023
- Dr. Naveen V received the Research Excellence from the Institute of Researchers, Kerala, India, 27 June 2023
- Dr. Hema Singh received the Career Excellence Award: Women in Engineering, in IEEE WAMS 2024, Visakhapatnam organized during 29 Feb. – 3 March 2024
- Dr. Mrudula G received the prestigious Excelsia award of Vimala College from Sri. Arif Mohammed Khan, Governor of Kerala, 8 September 2023.

In addition, many scientists in our laboratory have received research and association fellowships, identified as subject experts, members/ senior members of 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 awards, etc. I congratulate all of them on their success. For all the achievements of CSIR-NAL, I would like to acknowledge and sincerely thank the support and cooperation of members of the Research Council, Management Council of CSIR-NAL, DG-CSIR, and staff of CSIR Head Quarters, New Delhi. I also acknowledge the support received from our various stakeholders; DRDO, ISRO, DGCA, ADA, HAL, Air HQ, ARDB, DST, 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 efforts, cooperation, advice and confidence shown by these agencies. Finally, I wish to acknowledge and thank all scientists, technical officers and administrative staff members of CSIR-NAL for their continued commitment to the growth of the organization.

ABHAY A PASHILKAR
Director

Mission

- Development of national strengths in aerospace sciences and technologies, infrastructure, facilities and expertise.
- Advanced technology solutions to national aerospace programs, fighter aircraft, gas turbine engines, defense systems, defense services, launch vehicles & satellite and space systems.
- Civil aeronautics development (from 1994). Design and development of a small and medium-sized civil aircraft - To promote a vibrant Indian civil aviation.

Mandate

- NAL's mandate is to develop aerospace technologies with a strong science content, design and build small and medium-sized civil aircraft, and support all national aerospace programs.

Research Council

Chairman

Shri S. Somanath

Secretary, Department of Space &
Chairman, Indian Space Research Organization
Antariksh Bhavan,
New BEL Road, Bengaluru - 560094

Members

Shri C. B. Ananthakrishnan
Chairman & Managing Director,
Hindustan Aeronautics Limited,
Bengaluru - 560 001

Shri M.Z. Siddique
Director General (Aero),
DRDO,
Bengaluru - 560093

Shri Y. Dilip
Distinguished Scientist and Director,
Aeronautical Development Establishment (ADE),
DRDO,
Bengaluru- 560075

Dr. Kallappa Pattada
Director,
Boeing Research and Technology,
Boeing India Pvt. Ltd,
Bengaluru - 560092

Smt. Usha Padhee, IAS
Principal Secretary to Government,
Department of Commerce & Transport,
Government of Odisha,
Bhubaneswar- 751001

DG's Representative

Dr. S. Sathiyanarayanan
Head, Central Planning Directorate
Council of Scientific & Industrial Research,
New Delhi-110001

Sister Laboratory

Prof. Shantanu Bhattacharya
Director,
CSIR-Central Scientific Instruments Organization,
Chandigarh-160030

Director

Dr. Abhay A Pashilkar
Director,
CSIR-National Aerospace Laboratories,
Bengaluru - 560 017

Secretary, RC

Dr. Harish C Barshilia
Head, Director's Technical Secretariat,
CSIR-National Aerospace Laboratories,
Bengaluru - 560 017

Management Council

Chairman

Dr. Abhay A Pashilkar
Director, CSIR-NAL

Members

Dr. Prakash Kumar
Director, CSIR – NGRI, Hyderabad

Dr. Giresh Kumar Singh
Chief Scientist & Dy Head,
Flight Mechanics and Controls Division

Shri Thulasi Durai
Principal Scientist,
Advanced Composites Division

Smt Monalisa Behera
Senior Scientist
Structural Technologies Division

Shri Anurag Reddy
Scientist
Aerospace Electronics Division

Shri Rajendra Prakash M
Principal Technical Officer
Advanced Composites Division

Head, PBMD, CoFA / FAO

Member Secretary

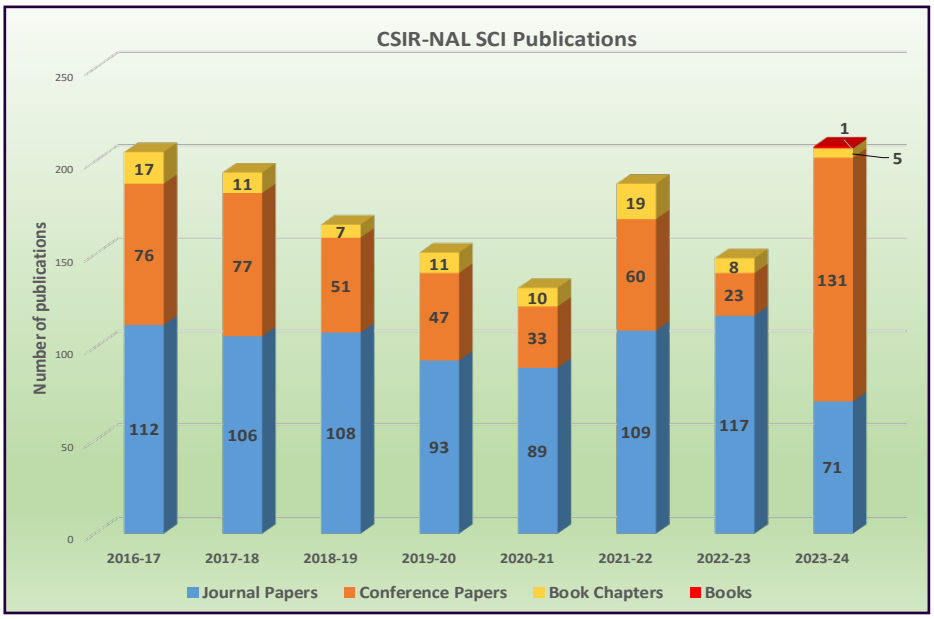
Sr. CoA / CoA

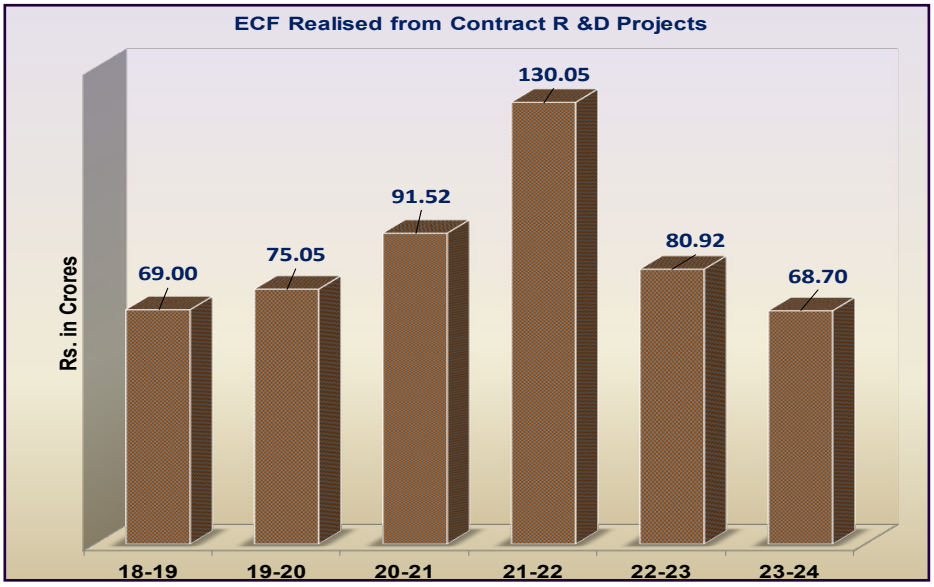
Major R&D Disciplines

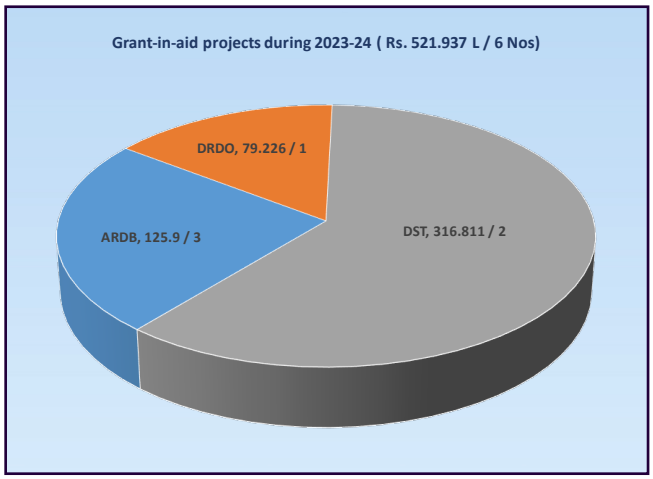
- Computational fluid dynamics
- Experimental aerodynamics
- National trisonic aerodynamic facilities
- Flight mechanics and control
- Propulsion
- Composites
- Structural design, analysis and testing
- Structural dynamics and integrity
- Surface modification
- Aerospace materials
- Aerospace electronics and instrumentation
- Civil aviation
- Manufacturing technology
- Information systems
- Electromagnetics

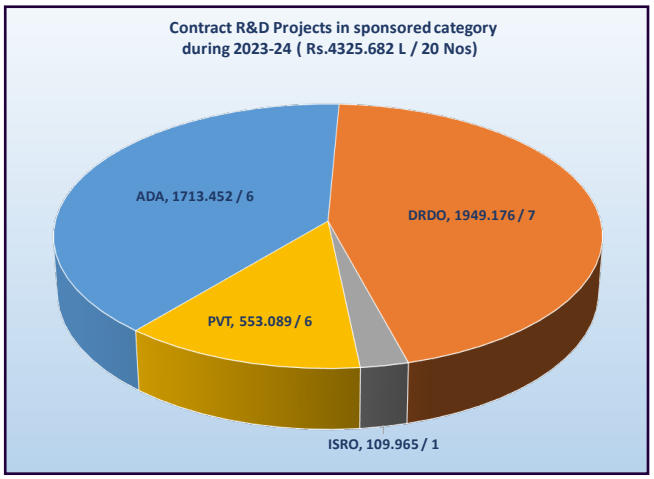
Collaborations and Interactions

S&T Performance Indicators

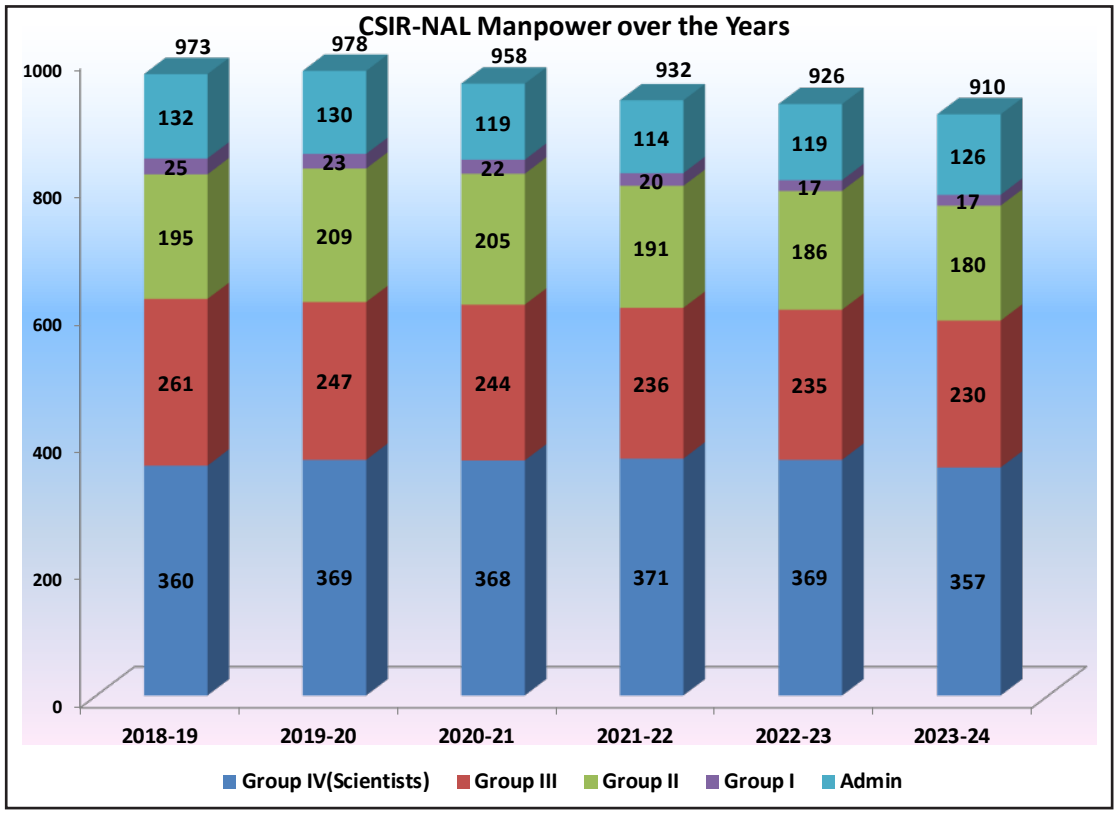


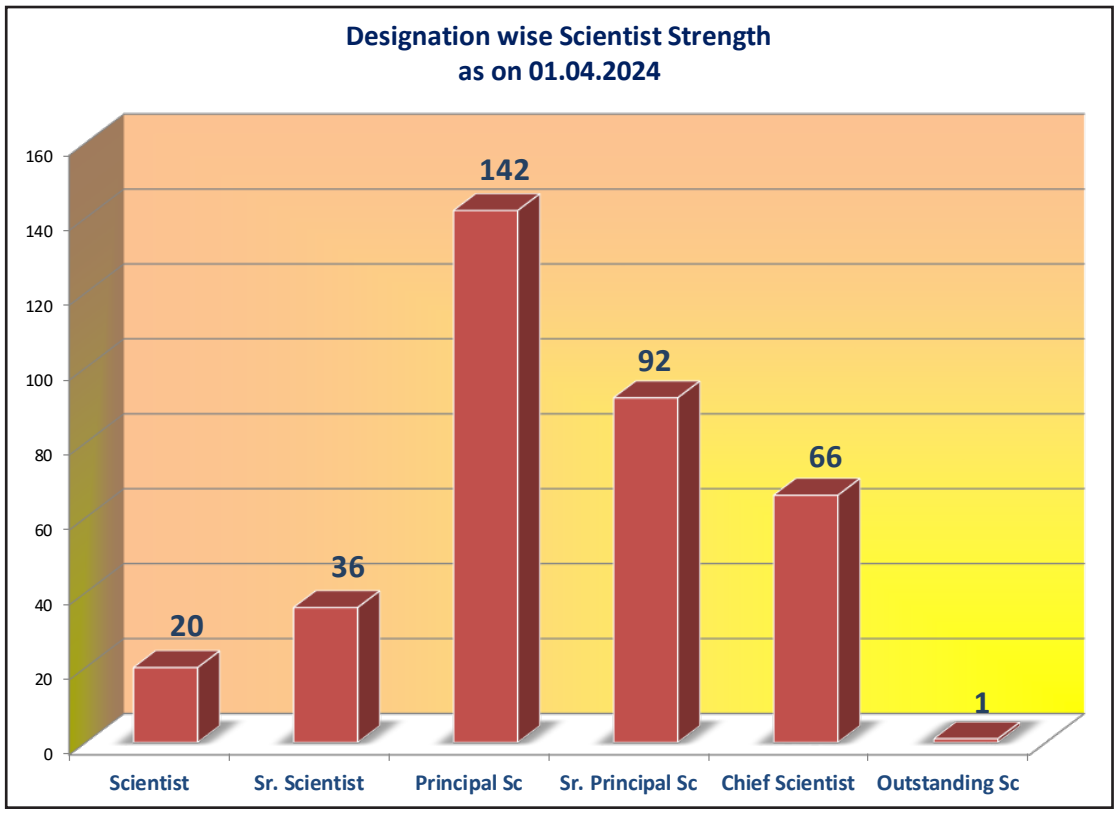




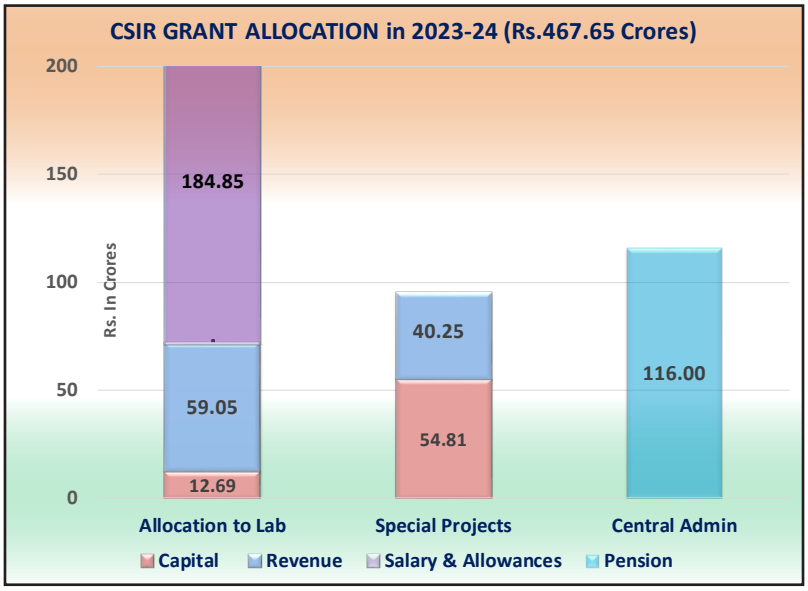


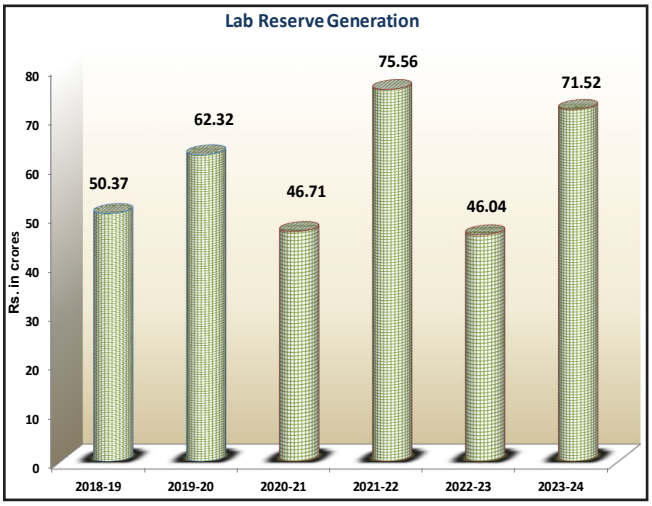
Human Resources Indicators

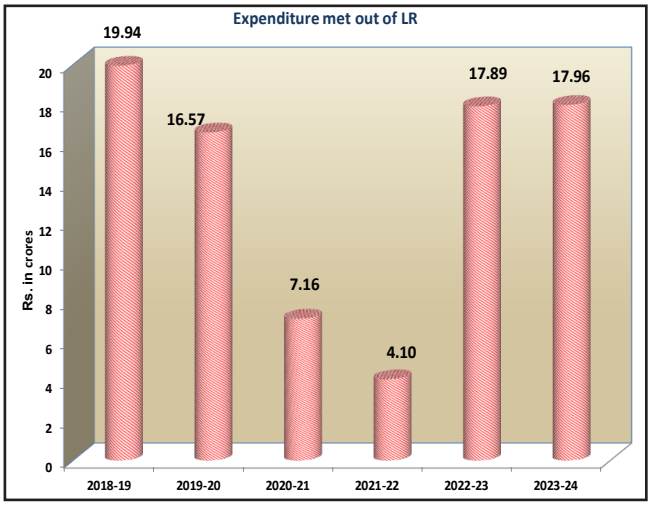


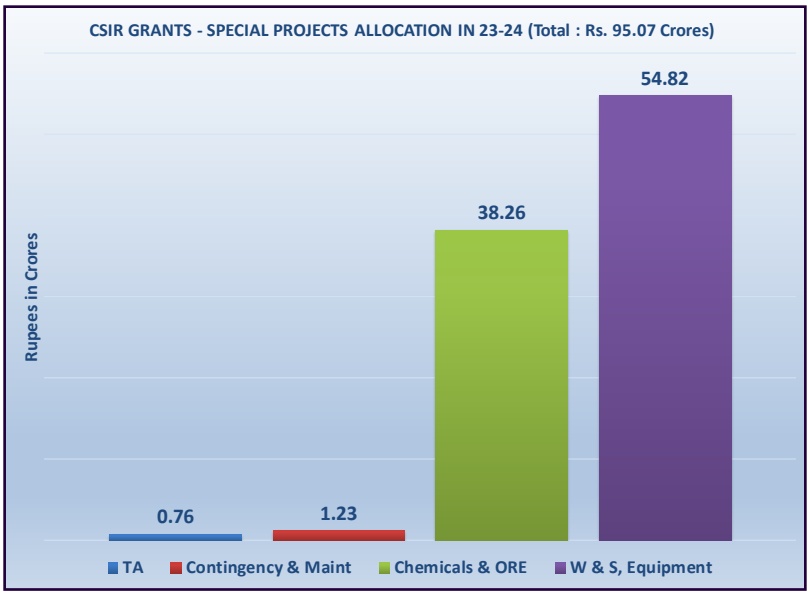


Financial Performance Indicators









सीएसआईआर-राष्ट्रीय वांतरिक्ष प्रयोगशालाएं
CSIR-National Aerospace Laboratories
PB 1779, Old Airport Road, Kodihalli, Bengaluru 560017, India
www.nal.res.in