# प्रौद्योगिकी विशेष

खंड 10 अंक 5, सितम्बर–अक्तूबर 2022 डीआरडीओ की द्विमासिक पत्रिका ISSN: 2319-5568

## विद्युत चुंबकीय रेलगन

प्रौद्योगिकी विशेष डीआरडीओ द्वारा विकसित किए गए उत्पादों, प्रक्रमों एवं प्रौद्योगिकियों को शामिल करते हुए इस संगठन द्वारा प्रौद्योगिकीय विकास के क्षेत्र में प्राप्त की गई उपलब्धियों को पाठकों के समक्ष प्रस्तुत करता है।

सितम्बर–अक्तूबर 2022
खंड 10, अंक 5

मुख्य संपादक: डॉ के नागेश्वर राव
मुख्य सह-संपादक: अलका बंसल
प्रबंध संपादक: अजय कुमार
संपादकीय सहायक: धर्म वीर

पाठकगण कृपया अपने सुझाव निम्नलिखित पते पर भेजें

**संपादक, प्रौद्योगिकी विशेष**
रक्षा वैज्ञानिक सूचना तथा प्रलेखन केंद्र (डेसीडॉक)
मेटकाफ हाउस, दिल्ली–110054
टेलीफोन : 011–23902403, 23902433/82
फैक्स : 011–23819151, 011–23813465
ई–मेल : director.desidoc@gov.in; techfocus.desidoc@gov.in; technologyfocus@desidoc.deldom
इंटरनेट : www.drdo.gov.in/technology-focus

## स्थानीय संवाददाता

| | |
|---|---|
| **आगरा :** | श्री एस एम जैन, एडीआरडीई |
| **अहमदनगर :** | कर्नल अतुल आप्टे, श्री आर ए शेख, वीआरडीई |
| **अंबरनाथ :** | डॉ. सुसन टाइटस, एनएमआरएल |
| **बेंगलूरू :** | श्री सतपाल सिंह तोमर, एडीई |
| | श्रीमती एम आर भुवनेश्वरी, कैब्स |
| | श्रीमती ए जी जे फहीमा, केयर |
| | श्री आर कमलाकन्नण, सेमीलेक |
| | श्री किरण जी, जीटीआरई |
| | डॉ. सुशांत क्षत्रे, एमटीआरडीसी |
| **चंडीगढ़ :** | श्री नीरज श्रीवास्तव, टीबीआरएल |
| **चेन्नई :** | श्रीमती एस जयसुधा, सीवीआरडीई |
| **देहरादून :** | श्री अभय मिश्रा, डील |
| | डॉ. एस के मिश्रा, आईआरडीई |
| **दिल्ली :** | श्री सुमित कुमार, सीफीस |
| | डॉ. दीप्ति प्रसाद, डिपास |
| | डॉ. निधि माहेश्वरी, डीआईपीआर |
| | श्री नवीन सोनी, इनमास |
| | श्री अनुराग पाठक, ईसा |
| | सुश्री नूपुर श्रोतिय, एसएजी |
| **ग्वालियर :** | डॉ. ए के गोयल, डीआरडीई |
| **हल्दवानी :** | डॉ. अतुल ग्रोवर, डिबेर; डॉ. रंजीत सिंह |
| **हैदराबाद :** | श्री ए आर सी मूर्ति, डीएलआरएल |
| | डॉ. मनोज कुमार जैन, डीएमआरएल |
| **जोधपुर :** | श्री रवींद्र कुमार, डीएल |
| **कानपुर :** | श्री ए के सिंह, डीएमएसआरडीई |
| **कोच्चि :** | सुश्री एम एम लता, एनपीओएल |
| **लेह :** | डॉ. शेरिंग स्टोब्डन, डिहार |
| **पुणे :** | श्री अजय कुमार पांडेय, एआरडीई |
| | डॉ. हिमांशु शेखर, एचईएमआरएल |
| | डॉ. अनूप आनंद, अनुसंधान तथा विकास स्थापना (इंजी.) |
| **तेजपुर :** | डॉ. एस एन दत्ता, डीआरएल |
| **मैसूर :** | डॉ. एम पालमुरुगन, डीएफआरएल |

# अतिथि संपादक की कलम से

आयुध अनुसंधान तथा विकास स्थापना (एआरडीई) डीआरडीओ द्वारा स्थापित की गई आरंभिक प्रयोगशालाओं में से एक है। इसे सशस्त्र सेनाओं तथा अर्धसैनिक बलों के लिए परंपरागत हथियारों को अभिकल्पित एवं विकसित करने का अधिदेश सौंपा गया है। विश्व के देशों द्वारा विकसित किए जा रहे भविष्य के हथियारों के स्तर के अनुरूप स्वयं को बनाए रखने तथा कम संपार्श्विक क्षति पहुंचाने वाली एवं उच्च विनाशक क्षमता से युक्त अत्यधिक सटीक एवं तीव्र गति से प्रहार करने वाले हथियारों की निरंतर बढ़ती मांग को पूरा करने को ध्यान में रखते हुए एआरडीई ने विद्युत चुंबकीय शक्ति से प्रक्षेप्यों को दागने वाले विद्युत चुंबकीय रेलगन को विकसित करने के लिए प्रौद्योगिकियों एवं सुविधाओं की स्थापना की है।

नौसेना तथा थल सेना दोनों द्वारा प्रयोग में लाए जा रहे परंपरागत फील्ड आर्टिलरी में तोपों की मारक क्षमता और रेंज दोनों में वृद्धि करने के लिए निरंतर प्रयास किए जाते रहे हैं। परंपरागत तोपों के बैरल से बारूद की आग के दबाव से प्रक्षेप्य प्रक्षेपित होता है जिसके कारण इन तोपों की मारक क्षमता एवं रेंज दोनों की अपनी सीमाएं हैं। वर्तमान समय में युद्ध के लिए निरंतर विकसित की जा रही आधुनिकतम प्रौद्योगिकियों को प्रयोग में लाए जाने तथा परंपरागत तोपों की मारक क्षमता एवं रेंज दोनों के एक स्थिर सीमा तक पहुंच जाने के कारण भविष्य के युद्ध के लिए अधिक मारक क्षमता एवं रेंज वाले तोपों को विकसित किए जाने की आवश्यकता निरंतर महसूस की जाती रही है। ऐसी स्थिति में बारूद की जगह विद्युत एवं चुंबकीय शक्ति का उपयोग करके प्रक्षेप्यों को दागने वाला विद्युत चुंबकीय रेलगन भविष्य का 'गेम–चेंजिंग' हथियार सिद्ध हो सकता है। युद्ध की स्थिति में नौसेना द्वारा विद्युत चुंबकीय रेलगन के प्रयोग से अपेक्षाकृत अधिक दूरी पर स्थित अपने लक्ष्य पर अत्यधिक सटीक एवं उच्च गति से प्रहार करके शत्रु के ऊपर बढ़त हासिल की जा सकती है तथा युद्ध के परिणामों में आमूल बदलाव लाया जा सकता है। इसके अतिरिक्त, विद्युत चुंबकीय रेलगन में बारूद की जगह विद्युत एवं चुंबकीय शक्ति का उपयोग किए जाने से विस्फोटक सामग्रियों के विनिर्माण, ढुलाई, रखरखाव तथा भंडारण से संबंधित सुरक्षा मानकों का अनुपालन किए जाने की आवश्यकता भी नहीं पड़ती है। तोप से दागे जाने वाले प्रक्षेप्यों को 2000 मीटर/सेकंड से अधिक वेग से प्रक्षेपित करने के लिए विद्युत चुंबकीय रेलगन प्रौद्योगिकी एक अद्वितीय एवं व्यावहार्य प्रौद्योगिकी है तथा इतनी तीव्र गति एवं सटीक मारक क्षमता रासायनिक प्रणोदक सामग्रियों का प्रयोग करने वाली परंपरागत तोपों को प्रयोग में लाकर प्राप्त नहीं की जा सकती है।

दशकों से रेलगन एक प्रयोगशाला उपकरण के रूप में प्रयोग में लाया जा रहा है किंतु इसके इतने महत्वपूर्ण उपयोग के बारे में विचार नहीं किया गया। हालाँकि दुनिया भर में किए जा रहे अनुसंधान क्रियाकलापों से यह ज्ञात होता है कि अब इस प्रौद्योगिकी को समग्र रूप में विकसित किए जाने तथा प्रयोगशाला में प्रयोग में लाए जाने से आगे आकर इस प्रौद्योगिकी के व्यावहारिक प्रणालियों में प्रयोग की दिशा में अनुसंधानकर्ताओं का ध्यान केंद्रित हुआ है। रेलगन के संबंध में ज्ञात प्रौद्योगिकीय एवं तकनीकी जानकारियों के एक सर्वेक्षण से यह ज्ञात होता है कि हाइपरवेलोसिटी रेलगन के विषय पर पश्चिमी देशों, जापान तथा चीन में एक बड़ा अनुसंधान प्रयास किया जा रहा है। इस बात की प्रबल संभावना है कि रेलगन प्रयोगशाला प्रोटोटाइप से आगे निकल कर युद्ध उपकरण का रूप लेगा तथा शीघ्र ही इसे एक सक्षम आयुध के रूप में प्रयोग में लाया जाना आरंभ कर दिया जाएगा।

प्रयोगशाला में विद्युत चुंबकीय रेलगन से संबंधित प्रारंभिक अनुसंधान कार्य वर्ष 1983 से 1991 के दौरान किए गए थे। उस दौरान 5 किलो वोल्ट, 240 किलो जूल कैपेसिटर बैंक से विद्युत शक्ति की आपूर्ति पर काम करने वाले 12 मिमी रेलगन को विकसित तथा स्थापित किया गया था।

विश्व के विभिन्न देशों में किए जा रहे विकास क्रियाकलापों के समकक्ष बने रहने के लिए एआरडीई ने कैपेसिटर बैंक द्वारा संचालित विद्युत चुंबकीय रेलगन से संबंधित महत्वाकांक्षी विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी (एस एंड टी) परियोजना को सफलतापूर्वक पूरा किया है। कैपेसिटर बैंक द्वारा संचालित एक 10 मेगा जूल के रेलगन का विभिन्न बोर आकार एवं प्रक्षेप्य द्रव्यमान के साथ सफलतापूर्वक परीक्षण किया गया है। अब अगले चरण में 100 मेगा जूल के रेलगन को विकसित करके प्रौद्योगिकी का शस्त्रीकरण किए जाने की योजना है। एआरडीई में 'सेंटर फॉर इलेक्ट्रोमैग्नेटिक लॉन्च टेक्नोलॉजी (सीईएमएलटी)' की स्थापना करके इस दिशा में कदम उठाए जा चुके हैं।

प्रौद्योगिकी विशेष के इस अंक में विद्युत चुंबकीय रेलगन से संबंधित प्रौद्योगिकी तथा इस प्रौद्योगिकी के विकास में एआरडीई द्वारा किए जा रहे योगदान के संबंध में एक संक्षिप्त विवरण प्रस्तुत किया गया है।

**ए राजू**
उत्कृष्ट वैज्ञानिक तथा निदेशक
एआरडीई, पुणे

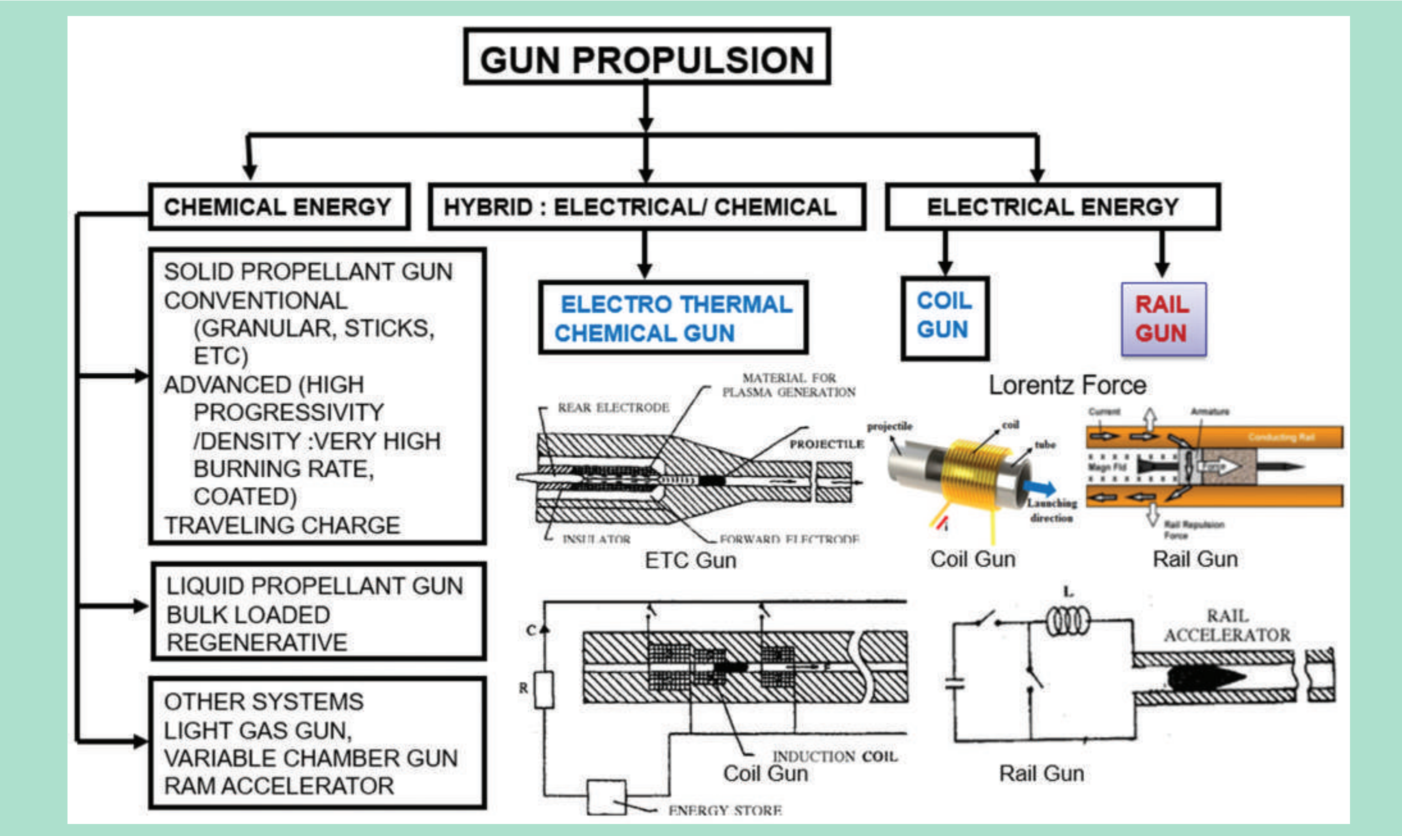
# विद्युत चुंबकीय रेलगन

परंपरागत तोप के बैरल से गन चैंबर में प्रणोदक पदार्थ के दहन के कारण उत्पन्न दबाव से प्रक्षेप्य प्रक्षेपित होता है। किंतु गन चेंबर में प्रणोदक पदार्थ भरे जाने की एक सीमा है। अधिक मात्रा में प्रणोदक पदार्थ भरे जाने के लिए एक बड़े आकार के गन चैंबर की आवश्यकता होती है जिसके परिणामस्वरूप दबाव में कमी आती है। गन चैंबर में प्रणोदक पदार्थ के दहन के कारण उत्पन्न गैसों के दबाव से तोप से निकलने वाले प्रक्षेप्य को प्राप्त होने वाला अधिकतम वेग गैस में ध्वनि की गति का एक फलन होता है।

परंपरागत तोपों में प्रक्षेप्य को प्रक्षेपित करने के लिए प्रयोग में लाई जाने वाली प्रणोदन तकनीक का नीचे दी गई आकृति में संक्षिप्त विवरण प्रस्तुत किया गया है।

वर्तमान समय में विद्युत चुंबकीय नोदक पदार्थ से संबंधित नवीनतम तकनीक का पता लगाया जा रहा है जिसमें लॉरेंज़ बल के कारण उत्पन्न विद्युत चुंबकीय ऊर्जा का उपयोग प्रक्षेप्य को गति प्रदान करने के लिए किया जाता है। इस प्रकार की प्रणोदन प्रणाली में रासायनिक ऊर्जा–आधारित प्रणोदन में गैसों के द्वारा उत्पन्न किए गए दबाव से प्रक्षेप्य में गतिज ऊर्जा उत्पन्न करने से भिन्न माध्यम के वेग की कोई सैद्धांतिक सीमा नहीं होती है क्योंकि इस प्रकार की प्रणोदन प्रणाली में विद्युत चुंबकीय तरंगे प्रकाश की गति से संचरण करती हैं।

आयुध अनुसंधान तथा विकास स्थापना (एआरडीई) में प्रोग्रामनीय स्पंदित विद्युत प्रौद्योगिकी का उपयोग करके 10 मेगा जूल कैपेसिटर बैंक पर आधारित एक रेलगन को सफलतापूर्वक




तोप प्रणोदन तकनीक

अभिकल्पित, विकसित तथा संस्थापित किया गया है। इस सुविधा का उपयोग करके प्रक्षेप्य में >2000 मीटर/सेकंड का अत्युच्च वेग उत्पन्न करने के लिए प्रणोदन हासिल किया गया है। 10 मेगा जूल कैपेसिटर बैंक पर आधारित रेलगन का उपयोग करके प्रायोगिक मूल्यांकन करने तथा प्रणाली के कार्य निष्पादन को ज्ञात करने के लिए एक स्थिर फायरिंग स्टैंड से श्रृंखलाबद्ध डायनामिक फायरिंग परीक्षण किए गए। इन प्रयोगों से 80 ग्राम, 120 ग्राम, 250 ग्राम और 500 ग्राम के प्रक्षेप्यों हेतु 12 मिमी से 45 मिमी तक के विभिन्न बोर आकारों के लिए विद्युत चुंबकीय रेलगन को चिह्नित करने में मदद मिली है। प्रौद्योगिकी प्रदर्शन परियोजना के सफल समापन के उपरांत प्राप्त जानकारी के आधार पर भविष्य के युद्ध उपकरण के रूप में प्रयोग में लाए जाने वाले विद्युत चुंबकीय रेलगन में उच्च गति, रेंज तथा मारक क्षमता प्राप्त करने के लिए प्रणाली के संविन्यास तथा अभिकल्प से संबंधित प्रक्रियाओं को विस्तार प्रदान किया जा सकता है।

## विद्युतचुंबकीय प्रणोदन तथा अत्युच्च वेग

विद्युत चुंबकीय प्रणोदन में लॉरेंज़ बल के कारण उत्पन्न विद्युत चुंबकीय ऊर्जा का उपयोग प्रक्षेप्य को गति प्रदान करने के लिए किया जाता है। इसमें अंतर्निहित एक पूर्णतः सरल सिद्धांत यह है कि जब विद्युत धारा से युक्त चालक को किसी चुंबकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो उस चालक पर चुंबकीय क्षेत्र के प्रभाव के कारण एक बल उत्पन्न होता है। धारा तथा चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण जितना अधिक होगा उतना ही चालक पर लगने वाले बल की मात्रा अधिक होगी। तोप से प्रक्षेप्य को प्रक्षेपित करने के लिए प्रक्षेप्य पर लगने वाले बल की मात्रा इतनी अधिक होनी चाहिए कि उसमें तोप के बैरल की उपलब्ध सीमित लंबाई (आमतौर पर कुछ इंच से कुछ मीटर) के भीतर एक उच्च वेग उत्पन्न हो सके।

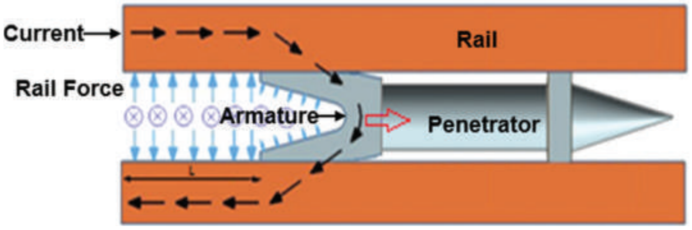
रैखिक मोटर, क्वॉइलगन तथा रेलगन में विद्युत चुंबकीय प्रणोदन प्रौद्योगिकी का व्यावहाारिक अनुप्रयोग प्रदर्शित होता है। रैखिक मोटर तथा क्वॉइलगन प्रौद्योगिकियां बड़े द्रव्यमान (कुछ किग्रा से कुछ सौ किग्रा तक) के पिंड को 100 मी/से से 1200 मी/से तक की गति देने के लिए उपयुक्त हैं, जिससे अधिक उच्च वेग के लिए इन प्रौद्योगिकियों की व्यावहारिक सीमाएं हैं और इस कारण ये प्रौद्योगिकियां आयुध श्रेणी के तोपों को विकसित करने के कार्यक्रम हेतु प्रयोग में लाए जाने के लिए उपयुक्त नहीं हैं। दूसरी ओर रेलगन प्रौद्योगिकी छोटे गोलों के आकार के पिंडों को 2000 मी/से से अधिक तक की गति प्रदान कर सकती है और इस प्रकार अत्युच्च वेग प्रणोदन प्राप्त होता है। इस प्रकार के अत्युच्च वेग से मारक क्षमता में वृदधि, रेंज में वृदधि तथा गतिरोध दूरी में वृदधि आदि जैसे कई लाभ प्राप्त होते हैं। वेग में वृदधि का मतलब यह भी है कि रेलगन तकनीक का इस्तेमाल शत्रु द्वारा दागी गई मिसाइलों तथा उनके युद्धक विमानों को ध्वस्त करने के लिए सीधे प्रहार करने वाले एक छोटी मिसाइल के रूप में किया जा सकता है। रेलगनों को प्रयोग में लाए जाने का अन्य लाभ यह है कि इनमें रासायनिक प्रणोदकों का प्रयोग किए जाने की आवश्यकता न होने के कारण आयुध के भंडारण एवं ढुलाई सहित इसके रखरखाव की प्रक्रिया सरल तथा जोखिम से मुक्त होती है। परंपरागत रासायनिक प्रणोदक–आधारित तोप प्रणालियों की तुलना में प्रति राउंड रखरखाव और फायरिंग की लागत बहुत कम होगी। इसमें रीकॉइल, ब्लास्ट तथा आग उत्पन्न होने की घटना की संभावना लगभग नगण्य होती है और इसलिए इन हथियारों को विभिन्न लॉन्च प्लेटफॉर्मों से तथा इलाके की विभिन्न स्थितियों में आसानी से प्रयोग में लाया जा सकता है।

## विद्युत चुंबकीय रेलगन संचालन का सिद्धांत

रेलगन के संचालन का सिद्धांत सरल है, इसमें स्थिर भाग के रूप में दो समानांतर संवाहक (जिन्हें रेल कहा जाता है) तथा एक सचल संपर्क अवयव (जिसे आर्मेचर कहा जाता है) निहित होते हैं। एक रेल से होकर उच्च परिमाण की धारा प्रवाहित किए जाने पर आर्मेचर द्वारा धारा को दूसरी रेल में भी प्रवाहित कर दिया जाता है। रेलों द्वारा सृजित किए गए विद्युत चुंबकीय क्षेत्र के प्रभाव से उत्पन्न लॉरेंज़ बल के प्रभाव के कारण प्रक्षेप्य (आर्मेचर) रेल/बैरल के अनुदिश आगे की दिशा में गति करता है।

प्रक्षेप्य पर लगने वाले बल को सूत्रः $F=1/2\, L'\, I^2$ द्वारा निरूपित किया जाता है जहां L' रेलों की प्रेरकत्व प्रवणता (प्रति इकाई लंबाई रेलों से हो कर प्रवाहित हो रही धारा के पथ पर उत्पन्न प्रेरकत्व की मात्रा) तथा I रेल में प्रवाहित होने वाली धारा की मात्रा है। इस प्रकार तोप के बैरल में प्रक्षेप्य को उच्च श्रेणी का वेग प्रदान करने के लिए अंतःक्षेपित की जाने वाली धारा का परिमाण मेगा ऐम्पियर के मात्रक में होगा।

इतनी उच्च शक्ति की धारा को संभालने के लिए संघटकों के अनुमतांक, पृथक्करण तथा अंतर्निहित प्रचालनात्मक सुरक्षा के संदर्भ में प्रणाली एवं प्रौद्योगिकियों को अभिकल्पित तथा विकसित करना एक चुनौतीपूर्ण कार्य है। अर्धचालक तत्वों से संबंधित प्रौद्योगिकियों के विकास तथा उच्च ऊर्जा घनत्व के संधारित्रों के उपलब्ध होने से विद्युत चुंबकीय प्रणोदन पर आधारित बंदूक प्रणाली (तोप) को अभिकल्पित तथा विकसित किया जाना संभव हो सकता है।




रेलगन संचालन का सिद्धांत

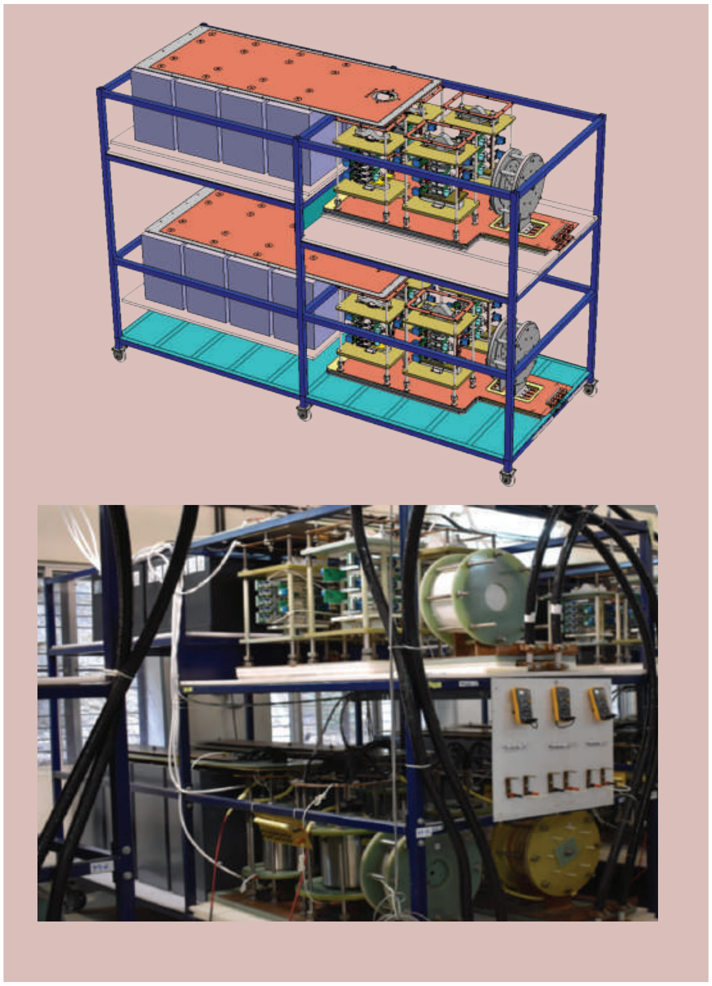
# एआरडीई में विद्युत चुंबकीय रेलगन परियोजना

## स्पंदित विद्युत प्रणाली

युद्ध उपकरणों में प्रयोग में लाए जाने के लिए मेगा जूल के मात्रक में ऊर्जा तथा गीगा वाट के मात्रक में शक्ति की आवश्यकता होती है। स्पंदित विद्युत प्रणालियां ऐसे ऊर्जा स्रोत हैं जो कुछ माइक्रोसेकंड से लेकर कुछ मिलिसेकंड तक के बहुत

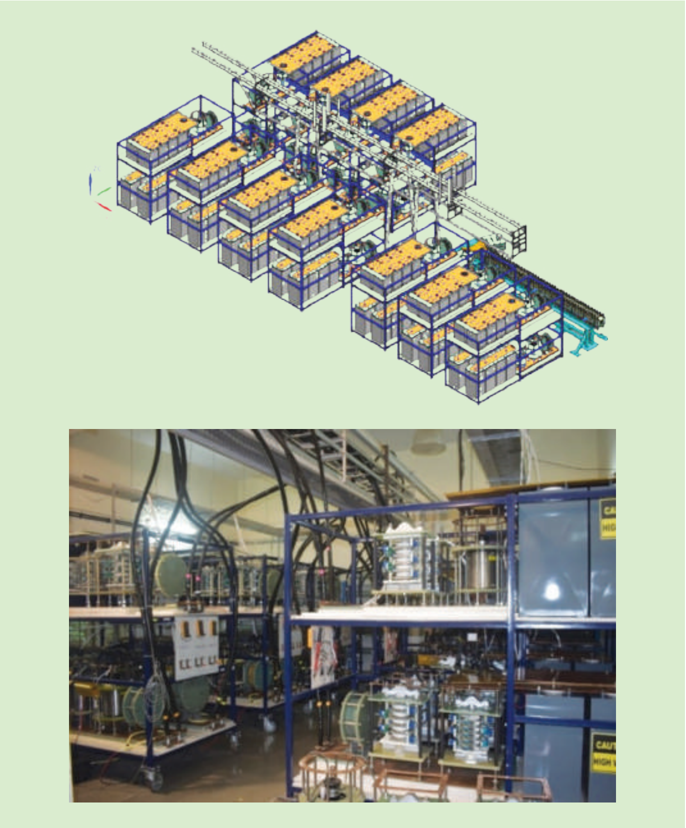
कम समय के भीतर बड़े परिमाण में विद्युत ऊर्जा का वितरण कर सकते हैं। स्पंदित विद्युत स्रोतों को संधारित करने वाले कुछ उपकरणों में बैटरियों, सुपर कैपेसिटरों, इंडक्टरों, कंपलसेटरों तथा पतली फिल्म कैपेसिटरों के नाम उल्लेखनीय हैं।

आयुध अनुसंधान तथा विकास स्थापना (एआरडीई) में पतली फिल्म संधारित्र का उपयोग किया जा रहा है। इन संधारित्रों को रेलगन में अंतःक्षेपित की गई धारा स्पंद के परिमाण तथा आमाप को नियंत्रित करने के उद्देश्य से 400 किलो जूल के मॉड्यूल में व्यवस्थित किया जाता है। 10 मेगा जूल संधारित्र बैंक में मॉड्यूलों का सीएडी मॉडल नीचे दिए गए चित्र में दर्शाया गया है।



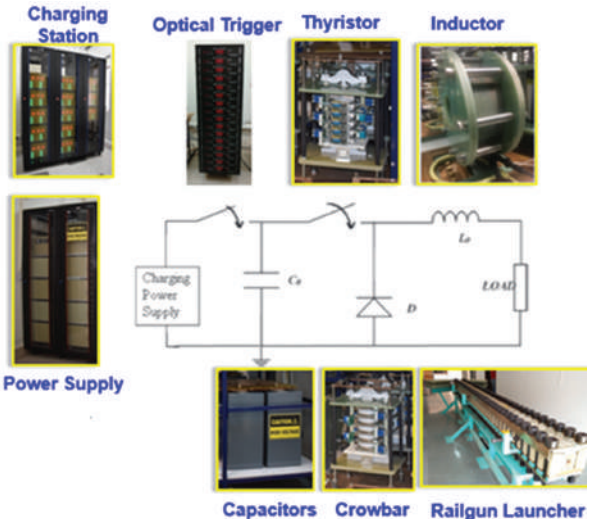
रैक पर व्यवस्थित सीएडी मॉडल तथा तैयार किया गया संधारित्र बैंक मॉड्यूल

10 मेगा जूल का संधारित्र बैंक तैयार करने के लिए व्यवस्थित किए गए मॉड्यूलों का सीएडी मॉडल भी नीचे दिए गए चित्र में दर्शाया गया है।



सीएडी मॉडल तथा तैयार किया गया १० मेगा जूल का संधारित्र बैंक

प्रत्येक मॉड्यूल में पार्श्व संयोजित संधारित्र, एक स्विच, धारा के परिमाण को सीमित करने एवं स्पंद को अपेक्षित आमाप प्रदान करने के लिए एक इंडक्टर तथा दोलन को रोकने के लिए एक फ्रीव्हीलिंग क्रोबार स्विच निहित होता है। यहां दिए गए चित्र में प्रयोगशाला में तथा संबंधित हार्डवेयर रेलगन में लोड के रूप में प्रयोग में लाए जाने के लिए उपयोग किए जा रहे कैपेसिटर बैंक

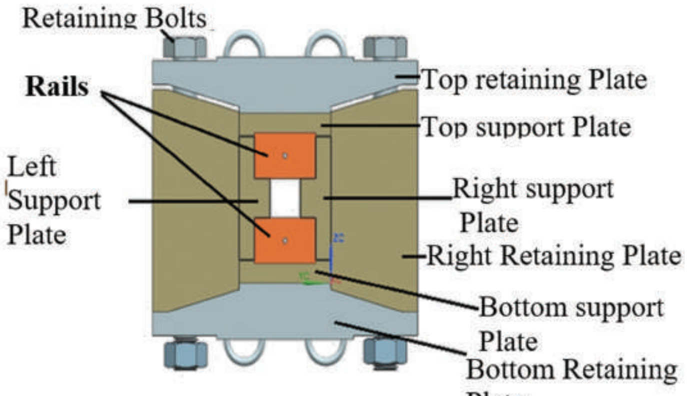



रेलगन परिपथ का ग्राफीय निरूपण

सर्किट का वैद्युत निरूपण दर्शाया गया है। आरंभ में स्विचिंग के लिए इग्निट्रॉन का उपयोग किया गया था, हालांकि कुछ इग्निट्रॉन को अब अर्धचालक स्विच असेंबलियों द्वारा बदल दिया गया है। पल्स शेपिंग इंडक्टर एक के ऊपर एक रखे प्लेटों के रूप में सोलनॉइड की आकृति का होता है, जिसे बिटर क्वॉइल नाम से जाना जाता है। विभिन्न उपप्रणालियों को एआरडीई की प्रयोगशाला में विकसित किया गया है।

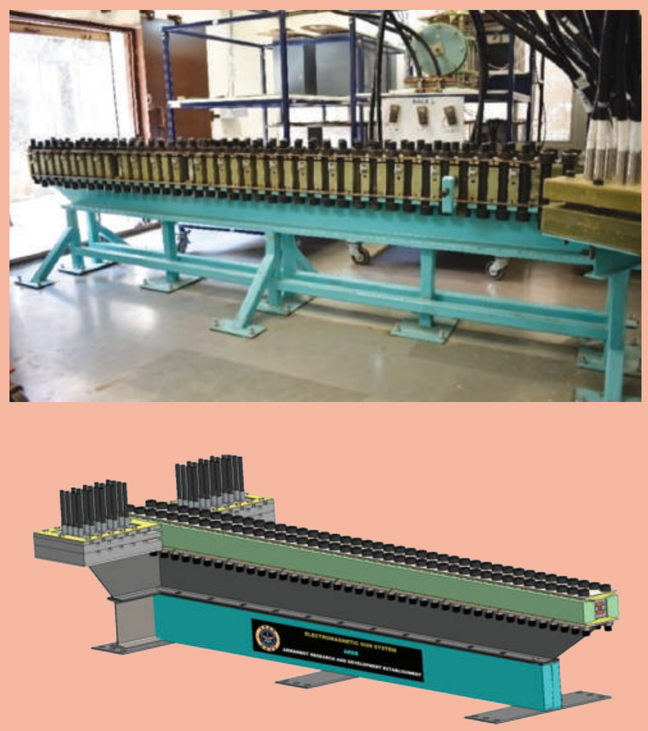
## रेलगन

रेलगन में बृहत परिमाण में प्रतिक्षेपी बल उत्पन्न होता है तथा रेल में कम से कम परिमाण में विचलन या विस्थापन उत्पन्न हो, इसे ध्यान में रखते हुए रेलगन के लिए एक प्रतिधारक संरचना अभिकल्पित की गई है। रेल की पृष्ठीय सतह के साथ आर्मेचर द्वारा गति किए जाने से रेल को क्षति पहुंचती है। प्रयोगशाला में 45 मिमी बोर तक के रेलगनों को विकसित किया गया है। रेलगन का अभिकल्प तथा प्रयोगशाला में विकसित किए गए रेलगनों को नीचे दिए गए चित्र में दर्शाया गया है।




रेलगन का अभिकल्पन

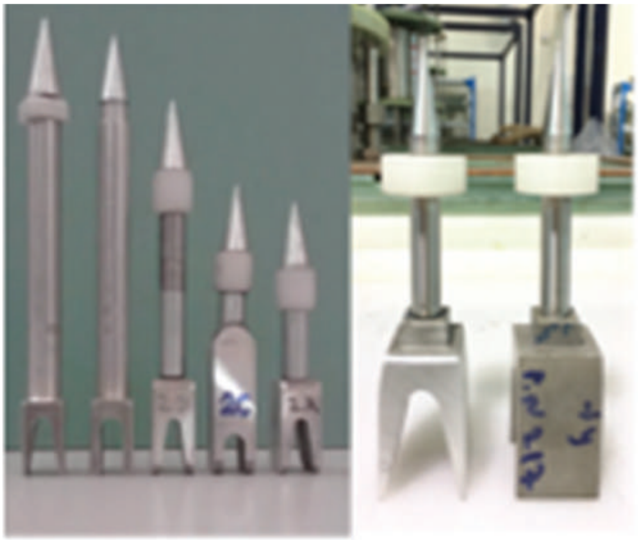
४५ मिमी बोर तक के रेलगन



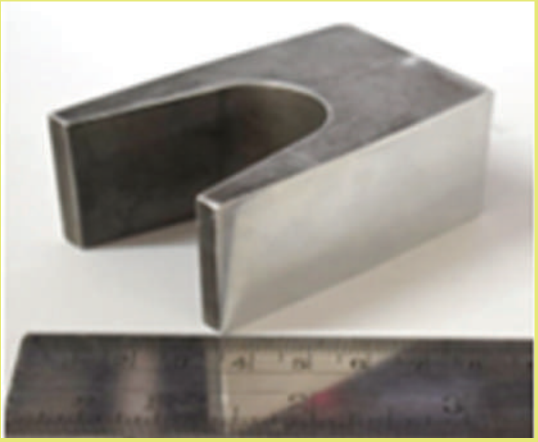
४५ मिमी बोर तक के रेलगन

## प्रक्षेप्य

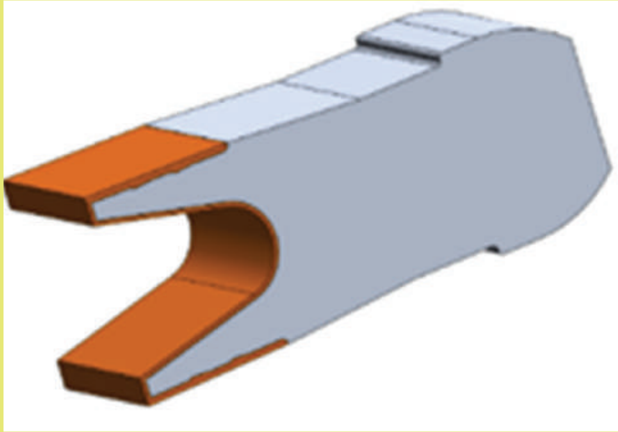
रेल के साथ उच्च धारा के परिपथ को पूरा करने के लिए विशेष रूप से डिजाइन किए गए सी–आकार के आर्मेचर का उपयोग किया जाता है। सी–आकार का आर्मेचर प्रक्षेप्य (दागे जाने वाले गोलों) का भी वहन करता है। 45 मिमी के विद्युत चुंबकीय रेलगन से 1 किलोग्राम तक के प्रक्षेप्य दागे गए हैं। कुछ प्रक्षेप्यों का प्रयोगशाला परीक्षण भी किया गया है।



वेधक से युक्त आर्मेचर



अखंड आर्मेचर

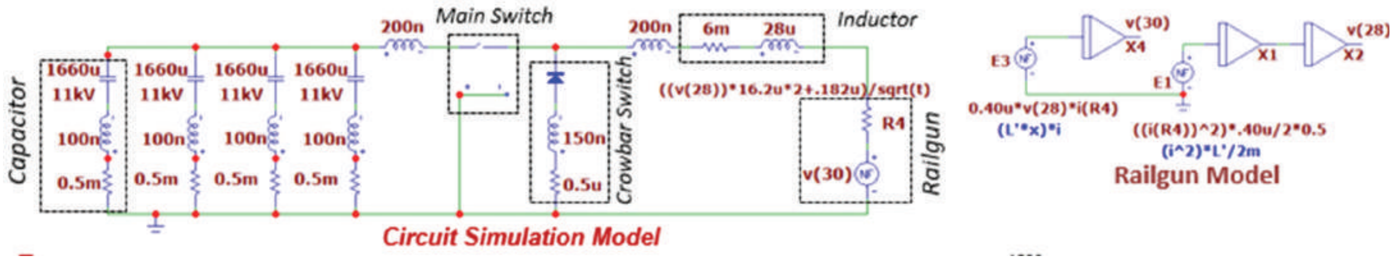


संशोधित अखंड आर्मेचर

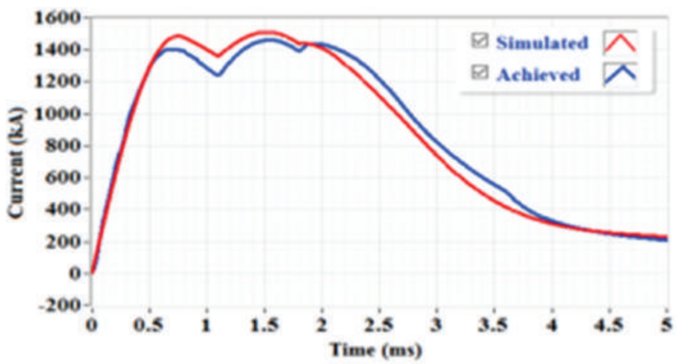
प्रक्षेप्य

## अभिकल्पन, विश्लेषण तथा अनुकार

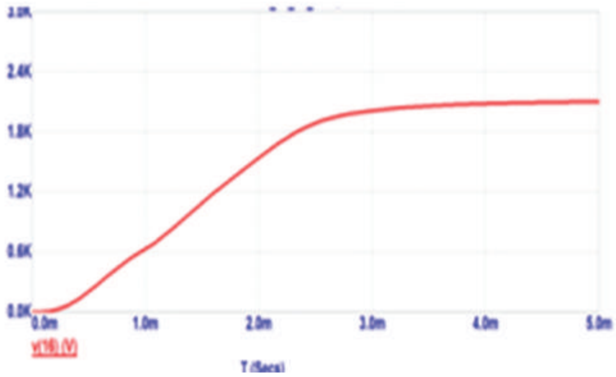
अनुकार में, कई मॉड्यूलों को एक साथ प्रयोग में लाया गया तथा उन सभी को एक खंड के रूप में माना गया। इस प्रकार 25 मॉड्यूल (10 मेगा जूल) के पूरे कैपेसिटर बैंक को कई खंडों में विभाजित किया गया तथा प्रत्येक खंड को मुख्य स्विच के स्विचिंग समय में होने वाले विलंब को शामिल करते हुए एक विशेष समय पर चालू किया गया। अनुक्रमिक स्विचिंग का मुख्य उद्देश्य एक फ्लैट टॉप करंट पल्स प्राप्त करना है। उपयुक्त खंड आकार और स्विचिंग समय का मूल्यांकन करने के लिए पुनरावृत्त अनुकार किए जाते हैं। माइक्रोकैप में एक अनुकार का मामला चित्र में दर्शाया गया है। इस मामले के लिए, मॉड्यूल को अलग–अलग समय अंतरालों पर तीन खंडों में विभाजित किया गया है।




सर्किट मॉडल (माइक्रोकैप में विकसित)



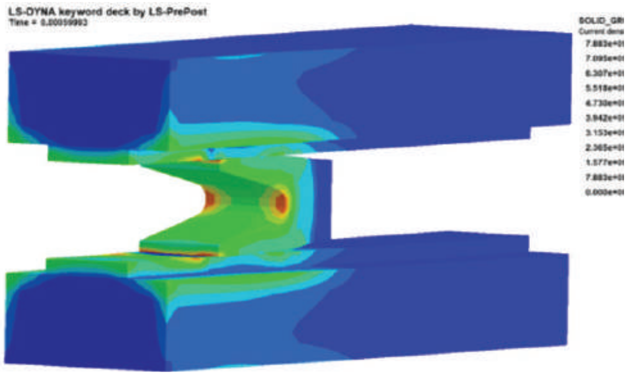

अनुकारित V वास्तविक धारा प्रोफ़ाइल



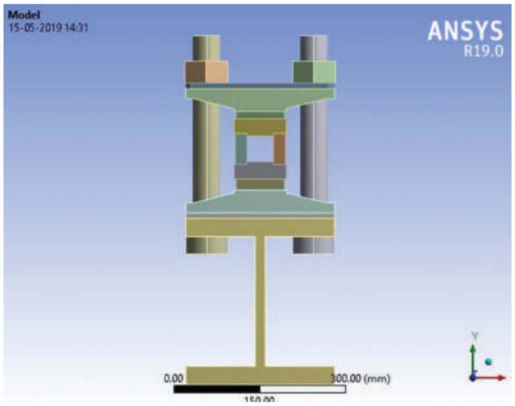
वेग प्रोफ़ाइल

## परिपथ अनुकार परिणाम १० मेगा जूल कैपेसिटर बैंक

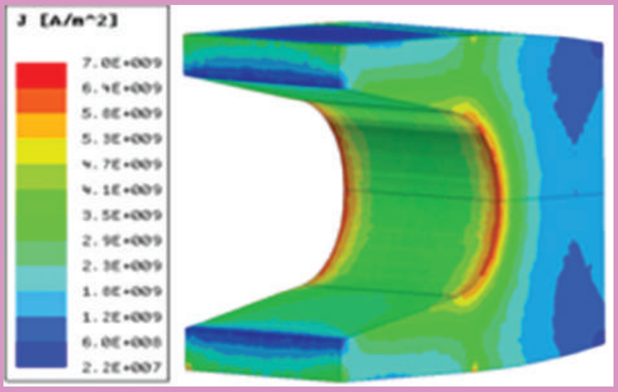
तैयार किए गए सिमुलेशन मॉडलों (लाल) का वास्तविक फायरिंग परिणामों (नीले) से वैधीकरण किया गया है। रेलगन आमापों, आर्मेचर एवं बिटर क्वॉयल के विभिन्न संविन्यासों के लिए मैक्सवेल तथा एन्सिस वर्कबेंच का उपयोग करके स्पंदित विद्युत संघटकों को अभिकल्पित करने के लिए सिमुलेशन किए गए हैं। प्रणालियों के उचित मूल्यांकन के लिए संपूर्ण विद्युत चुंबकीय तथा संरचनात्मक अध्ययन किया जाता है। एफ ई सिमुलेशन का उपयोग करके धारा घनत्व, बल, प्रतिबल, तापमान वृद्धि आदि का मूल्यांकन किया जाता है। सिमुलेशन नीचे दी गई आकृतियों में दिखाया गया है।

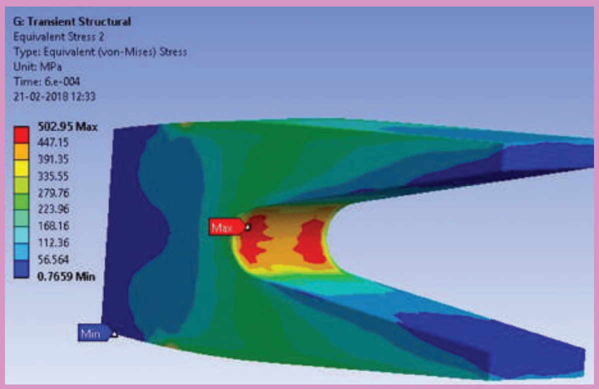



रेलगन में धारा घनत्व

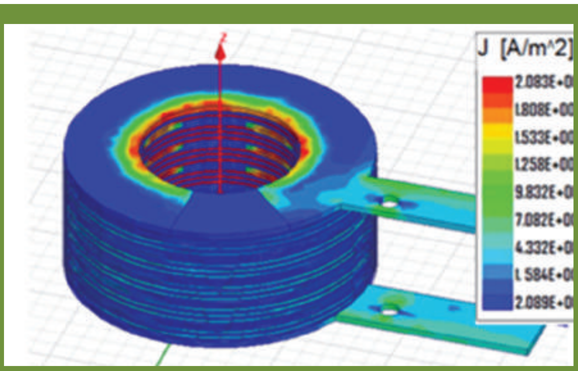


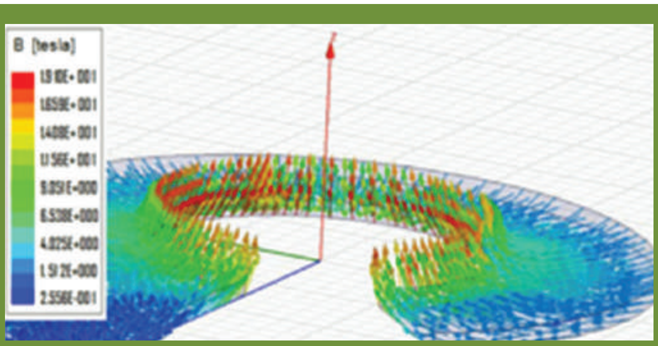

रेल में उत्पन्न विचलन का विश्लेषण






आर्मेचर विश्लेषण

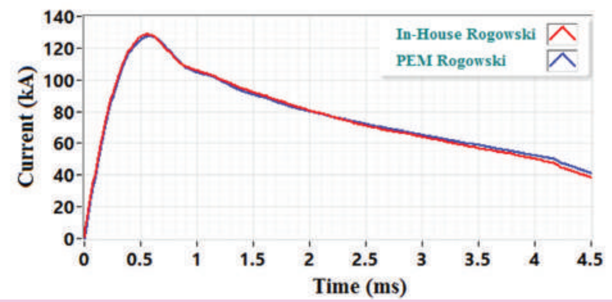


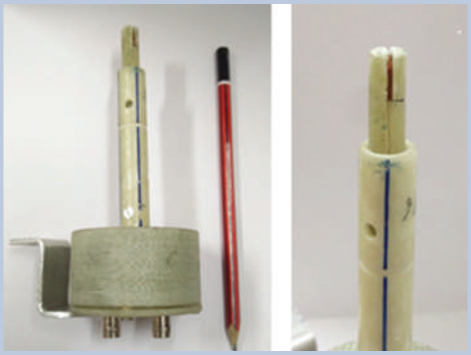

बिटर क्वॉयल का विद्युत चुंबकीय विश्लेषण

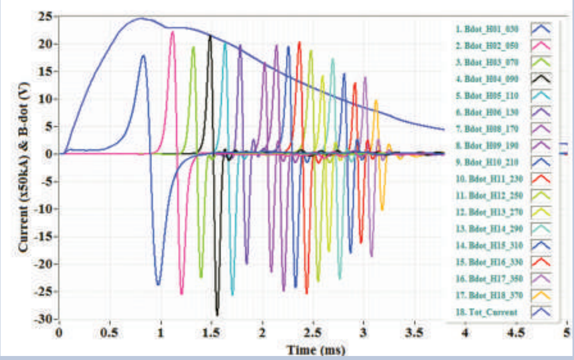
## विद्युत चुंबकीय रेलगन का यंत्रीकरण तथा नियंत्रण

एआरडीई द्वारा अपनी प्रयोगशाला में प्रणाली की निगरानी और विश्लेषण के लिए विभिन्न सेंसरों को विकसित किया गया है जिससे विद्युत चुंबकीय रेलगन को तैयार करने में मदद मिली है। प्रयोगशाला द्वारा मॉड्यूल धाराओं को मापने के लिए रोगोवस्की क्वॉइल, प्रक्षेप्य के इन–बोर वेग की माप करने के लिए बी–डॉट्स तथा नाल पृष्ठ एवं नाल मुख वोल्टता की माप करने के लिए अंतरायी संपरीक्षित्रों को प्रयोगशाला के भीतर विकसित किया गया है,

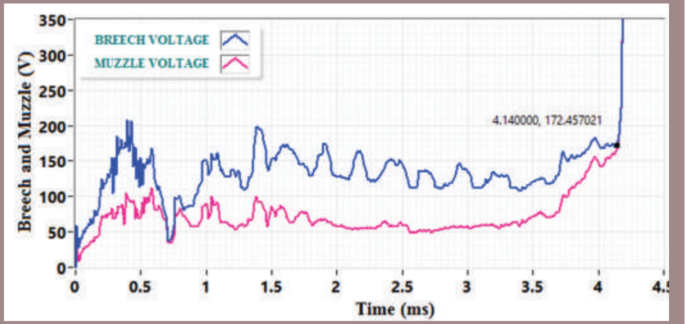



रोगोवस्की क्वॉइल तथा धारा प्रोफाइल





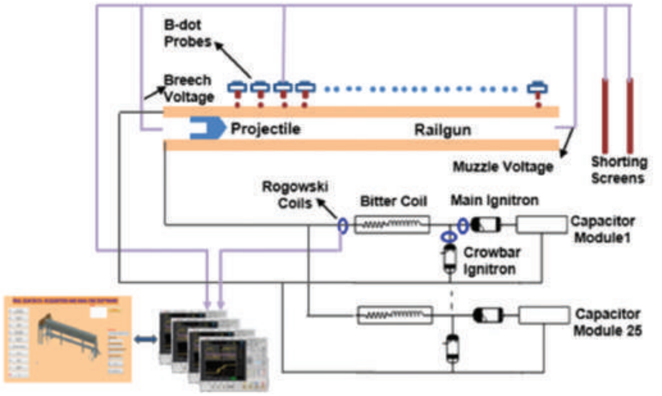

बी-डॉट्स संपरीक्षित्र तथा मापन



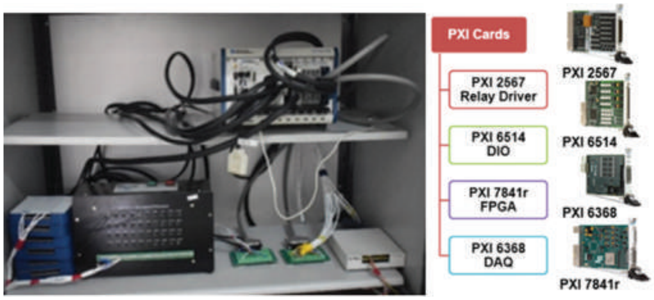

नाल पृष्ठ एवं नाल मुख वोल्टता

सेंसरों से युक्त संपूर्ण रेलगन प्रणाली का यंत्र विन्यास नीचे दी गई आकृति में दर्शाया गया है। 10 मेगा जूल रेलगन प्रणाली के कार्य–निष्पादन को प्रदर्शित करने तथा विश्लेषण करने के लिए कई अलग–अलग दोलनदर्शी यंत्रों के माध्यम से 100 से अधिक सेंसरों से डेटा प्राप्त किया जाता है। 100 से अधिक चैनलों से डेटा को प्राप्त करने तथा विश्लेषण करने के लिए एनआई लैब व्यू का उपयोग करके एक डेटा प्रापण प्रणाली (डीएएस) सॉफ्टवेयर विकसित किया गया है। नीचे दी गई आकृति में डेटा प्रापण सॉफ्टवेयर प्रणाली का मुख्य इंटरफ़ेस दर्शाया गया है। डेटा प्रापण सॉफ्टवेयर प्रणाली को अनेक दोलनदर्शी यंत्रों तथा स्कोप कॉर्डर्स से डेटा का संविन्यास करने, प्राप्त करने एवं भंडारण करने, डेटा का विश्लेषण तथा प्रदर्शन करने जैसी क्षमताएं प्रदान करता है।

विद्युत चुंबकीय रेलगन एक उच्च वोल्टता एवं उच्च परिमाण की धारा निविष्ट करने पर संचालित होता है तथा इस प्रणाली के संचालन के दौरान प्रणाली की सुरक्षा को ध्यान में रखते हुए अत्यधिक सावधानी बरते जाने की आवश्यकता होती है। पीएक्सआई आधारित नियंत्रण प्रणाली प्रत्येक मॉड्यूल की चार्जिंग तथा डिस्चार्जिंग करने, कैपेसिटर बैंक मॉड्यूल को ट्रिगर करने तथा बिजली की आपूर्ति को नियंत्रित करने के लिए अलग–अलग नियंत्रण प्रदान करती है। पीएक्सआई–आधारित नियंत्रण प्रणाली 25 मॉड्यूलों के लिए 100 से अधिक चैनलों को नियंत्रित करती है तथा इसमें संचालन के दौरान अंतर्निहित सुरक्षा से युक्त एक मजबूत नियंत्रण तंत्र शामिल है। रेलगन से गोलों को दागे जाने के दौरान किए जाने वाले कार्यों को निष्पादित करने के लिए प्रचालन प्रक्रिया पर सुरक्षित दूरी से नियंत्रण करने के लिए एनआई लैब व्यू का उपयोग करके एक पीएक्सआई नियंत्रण प्रणाली सॉफ्टवेयर तैयार किया गया है। यह सॉफ्टवेयर 10 मेगा जूल रेलगन प्रणाली में सभी मॉड्यूलों को एक इंटरफेस विंडो से नियंत्रित करने, निगरानी करने और ट्रिगर करने की क्षमता प्रदान करता है। लैब व्यू का उपयोग करके नियंत्रण प्रणाली के लिए विकसित किया गया सॉफ्टवेयर इंटरफ़ेस नीचे दी गई आकृति में दर्शाया गया है।




यंत्र व्यवस्थापन




पीएक्सआई प्रणाली

डेटा प्रापण सॉफ्टवेयर प्रणाली का मुख्य इंटरफ़ेस

पीएक्सआई नियंत्रण प्रणाली इंटरफेस

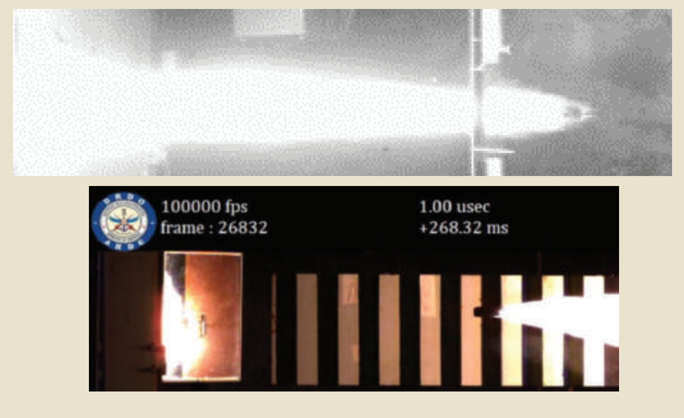
## फायरिंग रेंज तथा परीक्षण

विद्युत चुंबकीय रेलगन में प्रक्षेप्य को रखने की एक विशेष व्यवस्था की गई है। प्रक्षेप्य को रखने के लिए प्रयुक्त व्यवस्था नीचे दी गई आकृति में दर्शाई गई है।

प्रक्षेप्य को रखने की व्यवस्था

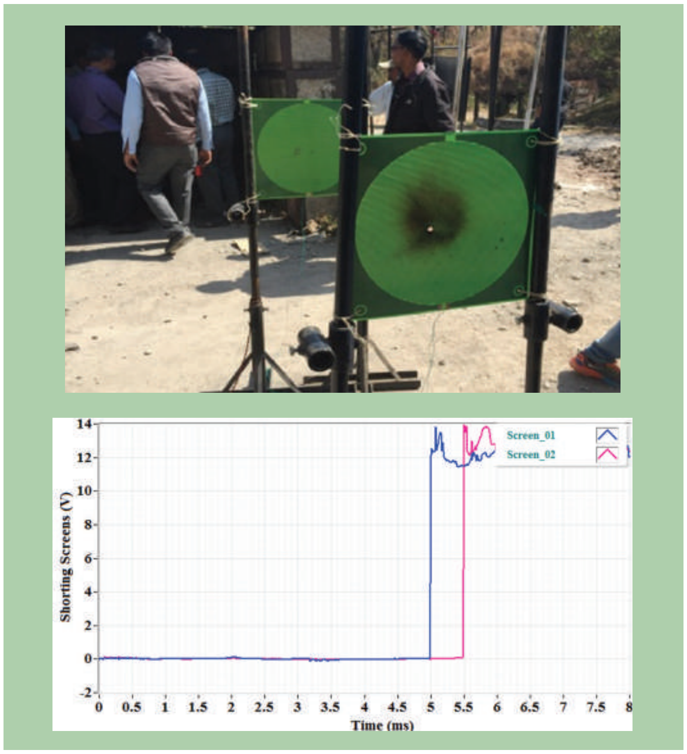
विद्युत चुंबकीय रेलगन से गोलों को दागे जाने के दौरान रेलगन का प्रतिबिंब यहां दी गई आकृति में दर्शाया गया है तथा दागे गए गोले का रेलगन से बाहर निकलने के बाद का हाई–स्पीड फोटोग्राफी का उपयोग करके प्राप्त किया गया प्रतिबिंब भी यहां दी गई आकृति में दर्शाया गया है।

रेलगन से प्रक्षेप्य को दागना

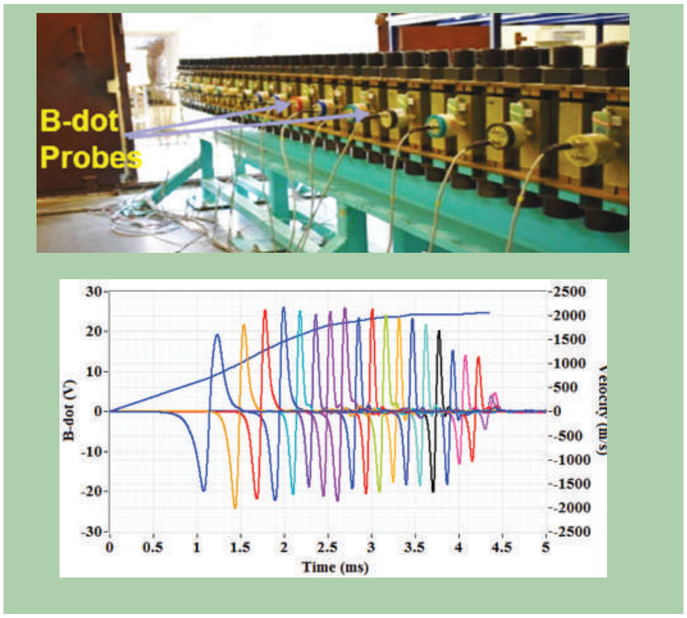



वेग का मापन करने के लिए हाई-स्पीड फोटोग्राफी

वेग का मापन चित्र में दर्शाए गए अनुसार एक निश्चित दूरी पर रखे गए शॉर्टिंग स्क्रीन के माध्यम से किया जाता है। रेलगन की लंबाई के साथ लगाए गए बी–डॉट संपरीक्षित्रों की सहायता से भी वेग का मापन किया जाता है तथा इसका परिकलन फ्रेम दर एवं दागे जाने के बाद जिन चयनित स्थानों से होकर प्रक्षेप्य गुजरता है उनके बीच की दूरी का उपयोग करके उच्च गति फोटोग्राफी का प्रयोग करके भी किया जाता है।




शॉर्टिंग स्क्रीन व्यवस्थापन



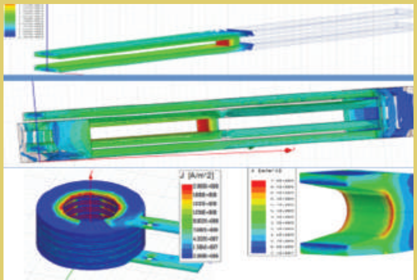

बी–डॉट संपरीक्षित्रों की सहायता से वेग का मापन

परीक्षणों से प्राप्त हुए परीणामों के कुछ मुख्य अंश इस प्रकार हैं:

| क्र सं | बैंक ऊर्जा | रेल–गन पैरामीटर | प्रक्षेप्य का द्रव्यमान | नालमुख वेग |
|---|---|---|---|---|
| i | 4 मेगा जूल | बोर–30 मिमी, लंबाई–4 मी | 120 ग्राम | 2030 मी/से |
| ii | 6 मेगा जूल | बोर–45 मिमी, लंबाई–4 मी | 250 ग्राम | 2220 मी/से |
| iii | 10 मेगा जूल | बोर–45 मिमी, लंबाई–4 मी | 500 ग्राम | 2123 मी/से |
| iv | 10 मेगा जूल | बोर–45 मिमी, लंबाई–4 मी | 1 किलो ग्राम | 1660 मी/से |

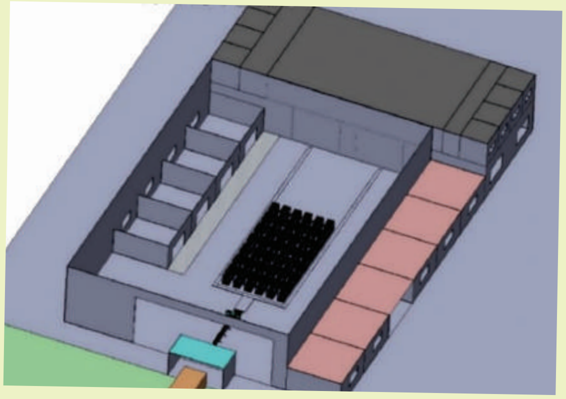
## प्रयोग में लाई गई प्रौद्योगिकी

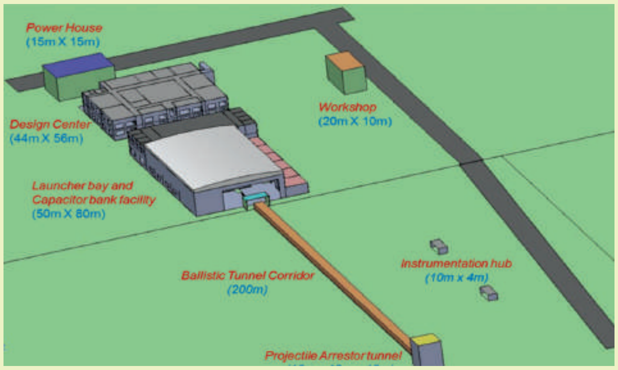
## अभिकल्पित एवं विकसित की गई विद्युत चुंबकीय रेलगन उप प्रणाली

| उप प्रणालियां | अभिकल्पन | उप प्रणालियां | अभिकल्पन |
|---|---|---|---|
| संधारित्र आधारित स्पंदित ऊर्जा प्रणाली | | चार्जिंग स्टेशन | |
| एचवी केबल एवं कनेक्टर | | अभिकल्प, अनुकार तथा विश्लेषण |  |
| रेल-गन लॉन्चर | | नियंत्रण प्रणाली | |
| पृथक्कृत ऑप्टिकल ट्रिगर प्रणाली | | विशेष यंत्रीकरण | |
| प्रक्षेप्य अभिकल्पन तथा विकास | | डेटा प्रापण प्रणाली | |

## 100 मेगा जूल विद्युत चुंबकीय रेलगन

10 मेगा जूल विद्युत चुंबकीय रेलगन विकास कार्यक्रम को क्रियान्वित किए जाने के दौरान प्राप्त की गई तकनीकी जानकारी का उपयोग 18 किग्रा भार के प्रक्षेप्य को एक स्थिर फायरिंग स्टैंड से 2000 मी/से से अधिक के अत्युच्च वेग से प्रक्षेपित किए जाने के उद्देश्य से 100 मेगा जूल कैपेसिटर बैंक द्वारा संचालित विद्युत चुंबकीय रेलगन को अभिकल्पित, विकसित एवं संस्थापित करने के लिए किया जा रहा है। प्रयोगशाला द्वारा पारंपरिक तोपों एवं मिसाइलों की मारक क्षमता एवं रेंज में अंतर को समाप्त करने के लिए 155 मिमी तक के बड़े कैलिबर और मध्यम दूरी (100 किमी से 400 किमी) तक मार करने वाले रेलगन का विकास एवं परीक्षण किया जाएगा ताकि रेलगन का प्रयोग छोटी मिसाइलों के रूप में किया जा सके। रेलगनों द्वारा इतनी अधिक दूरी पर प्रक्षेप्य को प्रक्षेपित करने के लिए इनपुट के रूप में एक बड़े परिमाण में विद्युत ऊर्जा (100 मेगा जूल) को प्रयोग में लाने की आवश्यकता है। यह भी आवश्यक है कि तोप प्रणाली एक साथ कई प्रक्षेप्यों को दागने, स्थल क्षेत्र या जल क्षेत्र के आर–पार तथा उन्नतांश में मार करने की क्षमताओं के साथ युद्ध क्षेत्र के लिए उपयोगी हो। विद्युत चुंबकीय रेलगन आयुध प्रणाली का विकास युद्ध के मैदान में सशस्त्र बलों को शत्रु के मुकाबले बढ़त देगा तथा गेम चेंजर साबित होगा। यह अनिवार्य है कि हमारी सशस्त्र सेनाओं के लिए प्रौद्योगिकियों के ऐसे नए क्षेत्रों को विकसित किया जाए जो पारंपरिक प्रौद्योगिकियों की तुलना में स्पष्ट तौर पर बेहतर हों। एआरडीई द्वारा रेलगन के विकास का यह कार्य वर्तमान में तैयार की जा रही एक समर्पित अवसंरचना सुविधा सीईएमएएलटी

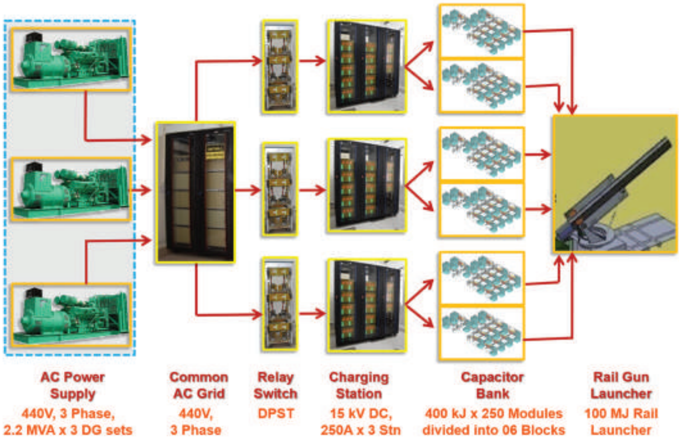




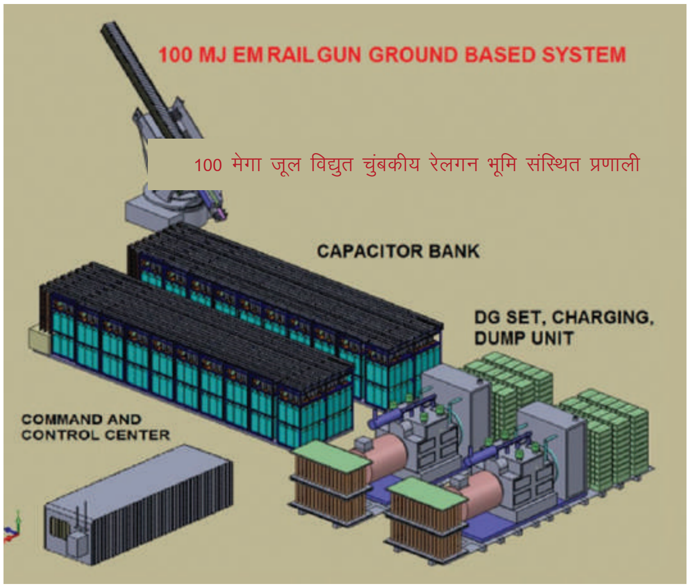

१०० मेगा जूल विद्युत ऊर्जा के लिए सीईएमएएलटी (CEMaLT) अवसंरचना सुविधा

में किया जाएगा।

100 मेगा जूल विद्युत ऊर्जा पर संचालित होने वाले विद्युत चुंबकीय रेलगन का ग्राफीय विन्यास नीचे दर्शाया गया है:




विद्युत चुंबकीय रेलगन प्रणाली में भावी रुझान एक ऐसी सचल तोप प्रणाली को विकसित करने की होगी जिसके द्वारा एक साथ कई प्रक्षेप्यों को दागा जा सके। विद्युत चुंबकीय रेलगन प्रणाली की एक अधुनातन भूमि संस्थित संस्थापना नीचे दी गई आकृति में दर्शाई गई है।



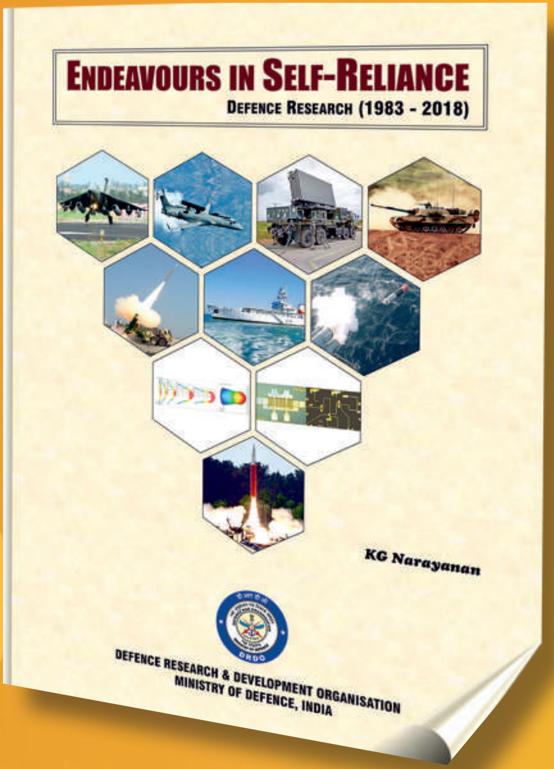

संपादक मंडल प्रौद्योगिकी विशेष के इस अंक हेतु लेख तैयार करने के लिए श्री एस के नायक, वैज्ञानिक 'जी' तथा उनकी टीम के सदस्यों के प्रति आभार व्यक्त करता है।

# डीआरडीओ मोनोग्राफ/ विशेष प्रकाशन श्रृंखला

## ENDEAVOURS IN SELF-RELIANCE

### DEFENCE RESEARCH (1983 - 2018)

रक्षा अनुसंधान तथा विकास संगठन
(1958–1982)
का आनुक्रमिक खंड




**मूल्यः**
आईएनआर ₹ 2100
युएस $ 75
युके £ 65

"एन्डेवर्स इन सेल्फ रिलायंस–डिफेन्स रिसर्च (1983–2018)" शीर्षक से प्रकाशित किए गए विशेष मोनोग्राफ का माननीय रक्षा राज्य मंत्री, श्री अजय भट्ट द्वारा 11 मई, 2022 को राष्ट्रीय प्रौद्योगिकी दिवस के अवसर पर डीआरडीओ भवन, नई दिल्ली में औपचारिक रूप से विमोचन किया गया। यह मोनोग्राफ डेसीडॉक, डीआरडीओ द्वारा पूर्व में प्रकाशित किए गए डॉ आर पी शेनॉय की पुस्तक "डिफेंस रिसर्च एंड डेवलपमेंट ऑर्गनाइजेशन (1958–1982)" का आनुक्रमिक खंड है।

इस विशेष मोनोग्राफ में वर्ष 1983–2018 की अवधि को कवर किया गया है जिसमें डीआरडीओ के इतिहास में क्रांतिकारी विकास तथा उपलब्धियों के दशक शामिल हैं। इस अवधि के दौरान एक ही पीढ़ी के वैज्ञानिकों, सैनिकों तथा नीति निर्माताओं द्वारा किए गए सम्मिलित प्रयासों के फलस्वरूप सामरिक हथियार प्रणालियों, गाइडेड मिसाइलों, युद्धक विमानों तथा हवाई पूर्व चेतावनी प्रणाली जैसी वैमानिकी प्रणालियों, मुख्य युद्धक टैंकों, नौसेना प्लेटफॉर्मों, सेंसरों तथा हथियारों, रडार प्रणालियों, संचार प्रणालियों, इलेक्ट्रॉनिक युद्ध क्षमताओं तथा कई अन्य उपकरणों को अभिकल्पित एवं विकसित करने में स्वदेशी क्षमता प्राप्त करने के मामले में व्यापक उपलब्धि हासिल की गई। मोनोग्राफ में रक्षा के क्षेत्र में काम कर रही विभिन्न प्रयोगशालाओं एवं संस्थापनाओं द्वारा तथा भारत के रक्षा अनुसंधान तथा विकास विभाग के तत्वावधान में आयोजित किए जा रहे विभिन्न कार्यक्रमों के माध्यम से किए गए अनवरत एवं पुरजोर प्रयासों का ऐतिहासिक घटनाओं के परिप्रेक्ष्य में विवरण प्रस्तुत किया गया है। पुस्तक का संपादन डीआरडीओ के पूर्व मुख्य सलाहकार डॉ के जी नारायणन ने किया है।

**क्रय हेतु संपर्क करें:**
निदेशक, डेसीडॉक, मेटकॉफ हाउस, दिल्ली–110054
marketing.desidoc@gov.in
011-23902612