भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका
वर्ष 31 अंक (1) जून 2023 पृ. 7-17
DOI: 10.56042/bvaap.v31i1.2722

भारत में सतत् विकास के लिए पवन ऊर्जाः वर्तमान स्थिति एवं भविष्य की संभावनाएँ

एस एस एल पटेल एवं पी पटेल*
शासकीय पॉलीटेक्निक, कोरबा (छत्तीसगढ़)
*भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान, खड़गपुर (पश्चिम बंगाल)

सारांशः इस शोध आलेख में, भारत में पवन ऊर्जा की आकलित क्षमता, अब तक की प्रमुख गतिविधियों, इस सेक्टर में हुई प्रगति एवं उपलब्धियों तथा भविष्य की संभावनाओं पर एक तथ्यात्मक विश्लेषण प्रस्तुत है। देश के प्रमुख पवन संभावना वाले राज्यों में अब तक संस्थापित पवन विद्युत क्षमता तथा उनकी अनुमानित क्षमताओं के विरुद्ध उपलब्धियों को प्रस्तुत किया गया है। साथ ही वैश्विक स्तर पर पवन विद्युत संस्थापना में भारत की स्थिति पर भी समीक्षात्मक चर्चा प्रस्तुत है।

अध्ययन दर्शाता है कि भारत में पवन ऊर्जा विकास की प्रचुर सम्भावना है। राष्ट्रीय पवन ऊर्जा संस्थान (NIWE) द्वारा देश भर में स्थापित 800 से अधिक पवन मॉनीटरिंग केन्द्रों से अत्याधुनिक LiDAR/SiDAR तकनीक का उपयोग कर प्राप्त किए गए आंकड़ों के आधार पर देश में जमीन की सतह से 100m की ऊँचाई पर (at100m AGL) संस्थापना योग्य पवन ऊर्जा क्षमता 302 GW है। 31 मार्च 2020 तक देश में पवन ऊर्जा की संचयी संस्थापित क्षमता 37.69 GW थी जो कि आकलित क्षमता का मात्र 12.47% ही है। उक्त उत्पादन क्षमता के साथ भारत विश्व में चौथे स्थान पर है, किन्तु उपलब्ध क्षमता के दोहन की प्रतिशत मात्रा अपर्याप्त है जो दर्शाता है कि देश में पवन ऊर्जा विकास की गति धीमी है। अध्ययन दर्शाता है कि सबके लिए वहन किए जा सकने योग्य स्वच्छ ऊर्जा के महत्वाकांक्षी लक्ष्य को पवन सेक्टर के तेज गति से विकास के साथ प्राप्त किया जा सकता है। इस प्रकार पवन परियोजनाओं की संस्थापना की गति को तेज करने तथा सतत् विकास के लिए सम्भावित ऊर्जा स्रोतों में से एक के रूप में स्थापित करने के लिए पवन फार्मों हेतु भूमि उपलब्ध कराए जाने की प्रक्रिया को अधिक सरल बनाना, आवश्यक संचरण (Transmission) अधोसंरचना का विकास, पवन ऊर्जा सेक्टर के लिए सरकार को पर्याप्त बजट का प्रावधान करना जैसे उपाय किए जाने चाहिए।

Wind energy for sustainable development in India: current status and future prospects

S S L Patel & P Patel*
Govt. Polytechnic, Korba (Chhattisgarh) India
Indian Istitute of Technology, Kharagpur (West Bangal)

Abstract

This paper presents the factual analysis of estimated potential, major initiatives so far, progress, achievements and prospects of future development of wind energy sector in India. The estimated potential in prospective states of the country and their achievements against these are also presented. Paper also presents the analysis on emergence of India and its current position among the leading country's of the world in wind power installation.

India is blessed with immense wind energy resources. The National Institute of Wind Energy (NIWE), by using advanced LiDAR/SiDAR technique to collect data through more than 800 monitoring stations installed across the country, estimated the country's wind energy potential as 302 GW at the height of 100m from the ground level. India's cummulative installed capacity of wind energy as on 31 March 2020 was 37.69 GW accountig only 12.47% of the estimated potential. With this generation capacity, India is ranked fourth in the world, but the percentage of capacity utilisation is inadequate and this indicates the slow pace of wind energy development in the country. Study reveals that the auspicious target of affordadable clean energy for all can be achieved through the faster development of the wind energy sector. Paper also suggests that to accelerate the pace of wind projects installation and establish wind power as one among the prospective sources of energy for sustainable development, there is the need to ease the process of land availabilibity, develop the necessary transmission facility, ensure more financing to the wind sector and promote hybrid technologies.

प्रस्तावना

भारत में भविष्य में सतत् एवं स्वच्छ ऊर्जा की आपूर्ति के लिए, पवन ऊर्जा की एक प्रमुख अनुपूरक ऊर्जा स्रोत के रूप में स्वीकार्यता बढ़ती जा रही है[1]।

भारत में पवन ऊर्जा परियोजनाओं की प्रदर्शन इकाइयों की शुरुआत 1985 में हुई थी। 1986 में पाँच पवन फार्मों के विकास के साथ उत्पादन क्षमता 3.3 MW हो गई जो कि 1989 तक 10 MW पहुँच गई थी एवं सभी क्षमता सरकारी प्रदर्शन परियोजनाओं से थी[2]। एशिया के सबसे बड़े एवं ऊंचे पवन टरबाइन का निर्माण 2004 में भारत में हुआ था[3]। वित्तीय वर्ष 2019-20 की समाप्ति पर भारत की संस्थापित पवन ऊर्जा क्षमता 37694 MW तक पहुँच गई थी[4]। भारत के विभिन्न राज्यों में तमिलनाडु वर्ष 2019-20 की समाप्ति पर 8969 MW की संस्थापित क्षमता के साथ देश का सर्वाधिक पवन ऊर्जा उत्पादक राज्य था[5]।

प्रस्तुत शोध पत्र में भारत में, पवन ऊर्जा की आकलित क्षमता एवं इसके विरुद्ध अब तक की प्रगति को प्रस्तुत किया गया है। शोध पत्र का उद्देश्य देश की उपलब्ध पवन क्षमता का इष्टतम मात्रा में दोहन किए जा सकने हेतु अपनाई जाने वाली नीतियां एवं कार्यक्रम तैयार कर भारत के लिए ऊर्जा सुरक्षा, ऊर्जा सुगम्यता, ऊर्जा उपलब्धता एवं ऊर्जा समानता के वृहत् उद्देश्यों को प्राप्त करने में पवन ऊर्जा की संभावित भूमिका को तलाशना है।

भारत में पवन ऊर्जा विकास के महत्वपूर्ण पड़ावों को क्रमिक रूप से सारणी 1 में बताया गया है।

सारणी 1 – भारत में पवन ऊर्जा विकास के महत्वपूर्ण पड़ाव[6]

वर्ष/अवधि	प्रमुख गतिविधि
1950 का दशक	पवन ऊर्जा का उपयोग घरेलू तथा सिंचाई के कार्य के लिए, पम्पों को चलाने में तथा डीजल पम्प सेटों के विकल्प के रूप में।
6वीं पंचवर्षीय योजना	भारत सरकार द्वारा राष्ट्रीय पवन मिल प्रदर्शन कार्यक्रम (National Wind Mill Demonstration Program, NWDP) लाया गया।
1952	इंजी. एम. एस. ठाकर ने सीएसआईआर के साथ मिलकर देश में पवन शक्ति के दोहन की संभावना का पता लगाने के लिए एक परियोजना प्रारंभ की[7]।
	व्यावहारिक रूप से उपयोग किए जा सकने वाले पवन संसाधनों की खोज तथा पवन ऊर्जा की आर्थिक सम्भावनाओं पर अन्वेषण के कार्यों हेतु सीएसआईआर द्वारा एक उप-समिति का गठन[8]।
	भारतीय मौसम विभाग के सहयोग से उप-समिति ने सर्वेक्षण का कार्य किया तथा लकड़ी एवं बाँस के बड़े पवन मिलों को विकसित कर उनका सफल परीक्षण किया।
1954	नई दिल्ली में सीएसआईआर एवं यूनस्को द्वारा सौर ऊर्जा एवं पवन विद्युत पर एक सिम्पोजियम का आयोजन किया गया [7]। सिम्पोजियम में एक ब्रिटिश पावर इंजीनियर ई. डब्ल्यू. गोल्डिंग ने भाग लिया। उन्होंने कई सुझाव दिए।
1957	सीएसआईआर ने गोल्डिंग के सुझावों को मान लिया[7]।
1960	सीएसआईआर ने इसी वर्ष स्थापित राष्ट्रीय एरोनॉटिकल लैबोरेटरी (NAL), बंगलौर के एक विभाग के रूप में पवन पॉवर डिविजन स्थापित किया[7]।
	1960S से
1980s	एनएएल एवं अन्य समूहों ने पवन वेग सर्वेक्षण का कार्य जारी रखा और भारत की पवन ऊर्जा क्षमता का सुधरा हुआ/उन्नत आकलन विकसित किया[9]।
1981	विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी विभाग के अन्तर्गत, अतिरिक्त ऊर्जा स्रोतों के लिए आयोग (Commission for Additional Sources of Energy, CASE) की स्थापना मार्च में हुई।
	आयोग को नीतियों की रूपरेखा तैयार करने एवं उनके क्रियान्वयन, नवीन एवं नवीकरणीय ऊर्जा के विकास के लिए कार्यक्रमों को बनाने तथा इस सेक्टर में शोध एवं विकास (R&D) को गति देने व उनके समन्वय का दायित्व सौंपा गया। ... (क्रमशः)

सारणी 1 – भारत में पवन ऊर्जा विकास के महत्वपूर्ण पड़ाव[6] ... (क्रमशः)

वर्ष/अवधि	प्रमुख गतिविधि
1982	एक नए विभाग, अपरंपरागत ऊर्जा स्रोत विभाग (Department of Non-conventional Energy Sources, DNES) का निर्माण ऊर्जा मंत्रालय में किया गया। यह CASE का समावेशन (Incorporation) था।
1985	भारत सरकार द्वारा राष्ट्रीय पवन संसाधन आकलन कार्यक्रम (National wind resource assessment program) प्रारंभ, पवन ऊर्जा परियोजनाओं की प्रदर्शन इकाइयाँ चालू की गईं।
1986	3.3 MW की उत्पादन क्षमता के साथ पाँच पवन फार्म विकसित किए गए।
1987	भारतीय नवीकरणीय ऊर्जा एजेंसी (Indian Renewable Energy Development Agency, IREDA) की स्थापना एक सार्वजनिक (Public) वित्तीय संगठन के रूप में।
1989	अब तक भारत की कुल संस्थापित पवन क्षमता 10 MW हो गई और ये सब शासकीय प्रदर्शन परियोजनाओं से थीं। IREDA द्वारा पवन परियोजनाओं को फाइनेंस करना।
1990	देश की प्रथम वाणिज्यिक पवन विद्युत उत्पादन परियोजना तमिलनाडु में चालू हुई।
1992	अब तक तमिलनाडु, गुजरात, महाराष्ट्र एवं ओडिशा के समुद्र तटीय क्षेत्रों में अनेक पवन टरबाइनों की संस्थापना हो चुकी थी।
	DNES अपरंपरागत ऊर्जा स्रोत मंत्रालय बना। अपरंपरागत ऊर्जा स्रोतों के विकास के लिए पृथक से मंत्रालय का गठन करने वाला भारत विश्व का पहला देश था।
1998	पवन ऊर्जा प्रौद्योगिकी केन्द्र (Centre for Wind Energy Technonlgy-C-WET) 'वर्तमान में राष्ट्रीय पवन ऊर्जा संस्थान (National Institute of Wind Energy, NIWE) की स्थापना एक स्वायत्त शोध एवं विकास संस्थान के रूप में MNRE द्वारा किया गया।
2004	एशिया के सबसे बड़े एवं ऊंचे पवन टरबाइन का निर्माण भारत में हुआ था।
2014	भारत की कुल संस्थापित पवन ऊर्जा क्षमता 1992 के 41.3 MW से बढ़कर 22465 MW हो गई।
2015	ऑफशोर पवन नीति की घोषणा।
	वर्ष 2022 तक 60 GW संचयी पवन विद्युत उत्पादन क्षमता संस्थापना का लक्ष्य MNRE द्वारा निर्धारित[10, 11]।
	वैश्विक स्तर पर कुल संस्थापित क्षमता में भारत पाँचवें से चौथे स्थान पर आ गया।
2016-17	वर्ष के लिए 4000 MW संस्थापना के निर्धारित लक्ष्य से लगभग 35% अधिक की रिकॉर्ड क्षमता वृद्धि।
दिसम्बर 2018	संचयी रूप से 877 पवन मॉनीटरिंग केन्द्रों की संस्थापना की जा चुकी थी।
2014 से 2020	वित्तीय वर्ष 2013-14 की समाप्ति पर देश की कुल संस्थापित पवन क्षमता जो 21132 MW थी वह 2019-20 की समाप्ति पर केवल छः वर्षों में उल्लेखनीय रूप से 78% से अधिक की वृद्धि के साथ 37694 MW हो गई[4]।

विभिन्न ऊँचाइयों (50m, 80m, 100m एवं 120m AGL) पर संस्थापना योग्य पवन क्षमता [Installable Wind Capacity at 50m, 80m, 100m and 120m Above Ground Level (AGL)]

NIWE द्वारा 50m, 80m, 100m, 120m टरबाइन के हब की ऊँचाई हेतु देश की पवन क्षमता को आकलित किया गया है और इसे पवन एटलस के रूप में प्रकाशित किया गया है। मानचित्र, मेसोस्केल एवं माइक्रो-स्केल मापनों पर आधारित हैं। सभी-प्राप्त जानकारियों को डेनमार्क की 'नेशनल लैबोरेटरी फॉर सस्टेनेबल एनर्जी (RISO-DTU) के साथ सहयोग से तैयार किया गया है। NIWE ने अधिक उन्नत मॉडलिंग विधियों का उपयोग किया है।

अति उन्नत Meso-micro मॉडल द्वारा बहुत अधिक स्थानिक रिसॉल्यूशन पर NIWE ने देश भर में फैले विभिन्न स्थलों से लगभग 1300 वास्तविक मापनों के आधार पर अध्ययन करके 100m agl पर संभावित क्षमता के आंकड़ों को प्रतिपादित किया। इसके अतिरिक्त, अध्ययन को NRSC 56m रिज़ॉल्यूशन (Land use land cover (LULC) आंकड़ा (AWi FS) 1: 250 K पैमाना

का उपयोग कर तथा 6 MW/km^2 प्रमापन के साथ किया गया। पवन उत्पादन के लिए अनुपयुक्त लक्षणों वाली भूमि को पवन क्षमता वाले मानचित्र से पृथक किया गया है। इसके अतिरिक्त सड़कों, रेल मार्गो, संरक्षित क्षेत्रों आदि को भी छोड़ दिया गया है। भूमि जिनका चढ़ाव (Slope) 20m से अधिक तथा ऊँचाई 1500m से अधिक है उन्हें मानचित्र में सम्मिलित नहीं किया गया है।

मानचित्र से स्पष्ट है कि सर्वाधिक आकलित पवन क्षमता गुजरात की एवं इसके पश्चात् क्रमशः कर्नाटक, महाराष्ट्र, आन्ध्र प्रदेश एवं तमिलनाडु की है।

सारणी 2 के अनुसार भूमि को तीन श्रेणियों में वर्गीकृत किया गया। प्रथम, अनुपयोगी भूमि (Rank I), दूसरा खेती योग्य भूमि (Rank II) एवं तीसरा वन भूमि (Rank III), जिन्हें आंकलन के लिए क्रमशः Rank I को 80%, Rank II को 30% और Rank III को 5% भारांक (Weightage) दिया गया।

* श्रेणी-I :- एनआरएससी स्तर-2 वर्गीकरण मानः 12, 13, 15, 19

* श्रेणी-II :- एनआरएससी स्तर-2 वर्गीकरण मानः 2, 3, 4, 5, 6, 10, 18

* श्रेणी-III :- एनआरएससी स्तर - 2 वर्गीकरण मान : 7, 8, 9

ऑफशोर पवन ऊर्जा विकास की सम्भावना (Potential of Offshore Wind Energy Development)

ऑनशोर एवं रिपॉवरिंग सेक्टरों के अतिरिक्त, ऑफशोर पवन ऊर्जा सेक्टर में भी महत्वपूर्ण क्षमता विद्यमान है। ऑफशोर पवन विकास अपेक्षाकृत एक नया क्षेत्र है जिसमें केवल यूरोप में ही अधिक प्रगति हुई है। भारत का सौभाग्य है कि भारतीय प्रायद्वीप की 7500 किलोमीटर समुद्री तट रेखा है। देश में ऑफशोर (अपतटीय) पवन ऊर्जा को सुविधाजनक बनाने का उत्तरदायित्व राष्ट्रीय पवन ऊर्जा संस्थान को सौंपा गया है। राष्ट्रीय पवन ऊर्जा संस्थान के पास तटवर्ती पवन ऊर्जा संसाधन निर्धारण व पवन ऊर्जा टरबाइनों के लिए परीक्षण और प्रमाणीकरण में व्यापक अनुभव है और उसके द्वारा पवन ऊर्जा उद्योग जगत के लाभ के लिए पूरे देश में पवन ऊर्जा क्षमता की संभावनाओं का अनुमान लगाया गया और उसे सत्यापित किया गया है। ऑफशोर पवन क्षमता का प्रारंभिक मूल्यांकन मौसम मस्तूल संस्थापित करने से आरंभ किया गया। भारत में समुद्र तटों पर विभिन्न ऊंचाइयों के 74 मौसम मस्तूल संस्थापित किए गए हैं।

कुछ विशेष निर्माण आवश्कताएं, ऑफशोर पवन विकास परियोजनाओं को ऑनशोर पवन विकास की तुलना में 1.5-2.5 गुना महँगा बना देती हैं और इसलिए बड़ी क्षमता की ऑफशोर पवन विकास, विकासशील देशों के लिए कठिन है। छोटी क्षमता की ऑफशोर पवन डिमॉन्स्ट्रेशन योजनाओं को सरकार सहायता

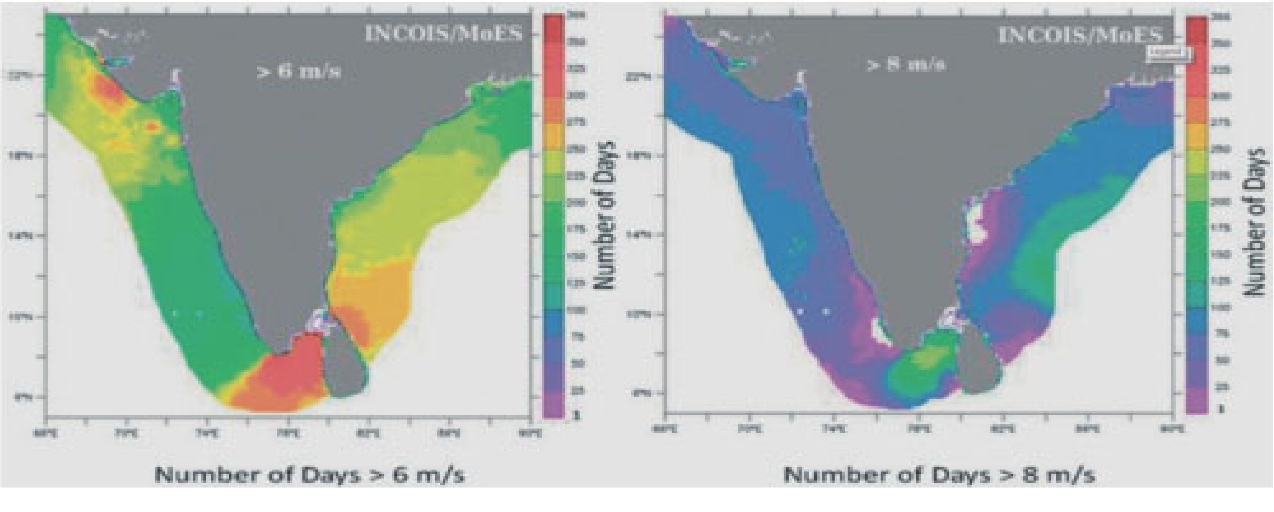
सारणी 2 – 100m AGL पर भारत की राज्यवार संस्थापना योग्य पवन ऊर्जा क्षमता (MW)[12,13]

क्र. सं.	राज्य/केन्द्रशासित क्षेत्र	श्रेणी-I*	श्रेणी-II*	श्रेणी-III*	योग
1.	अंडमान एवं निकोबार	4.12	3.43	0.88	8.43
2.	आन्ध्र प्रदेश	22525.50	20538.10	1165.00	44228.60
3.	छत्तीसगढ़	3.24	57.03	16.31	76.59
4.	गोवा	0.00	0.08	0.76	0.84
5.	गुजरात	52287.59	32037.83	105.09	84431.33
6.	कर्नाटक	15202.36	39802.59	852.40	55857.36
7.	केरल	332.63	1102.56	264.38	1699.56
8.	लक्ष्यद्वीप	3.50	3.40	0.77	7.67
9.	मध्य प्रदेश	2216.39	8258.55	8.93	10483.88
10.	महाराष्ट्र	31154.76	13747.43	492.15	45394.34
11.	ओडिशा	1666.20	1267.06	160.22	3093.47
12.	पुडुचेरी	69.43	79.00	4.40	152.83
13.	राजस्थान	15414.91	3342.62	12.96	18770.49
14.	तमिलनाडु	11251.48	22153.34	394.82	33799.65
15.	तेलंगाना	887.43	3347.52	9.34	4244.29
16.	पश्चिम बंगाल	0.03	2.04	0.01	2.08
	योग (MW)	153019.59	145742.59	3489.31	302251.49

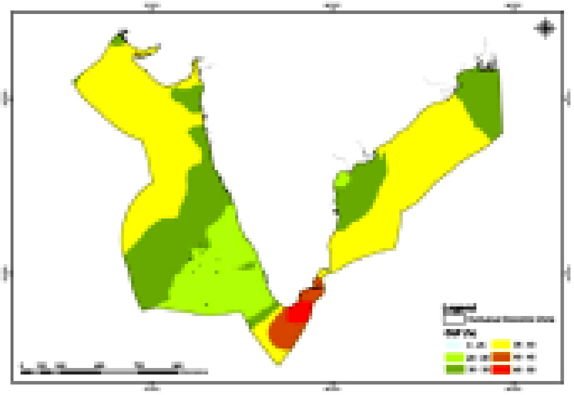
देकर, ऑफशोर पवन विस्तार में सार्वजनिक एवं निजी निवेश ला सकती है। आवश्यकता को देखते हुए MNRE ने अक्टूबर 2015 में राष्ट्रीय ऑफशोर पवन ऊर्जा नीति को अधिसूचित किया[14]। इस नीति के तहत गुजरात, महाराष्ट्र एवं तमिलनाडु के समुद्र तटीय क्षेत्रों में संसाधन आकलन का कार्य किया गया। विशिष्ट आर्थिक क्षेत्रों (Exclusive Economic Zones, EEZ) में ऑफशोर परियोजनाओं के संवर्धन एवं विकास हेतु NIWE को नोडल एजेन्सी बनाया गया था। NIWE, FOWIND के साथ ज्ञान साझीदार भी है। FOWIND (Fascilitating Offshore Wind in India), वैश्विक पवन ऊर्जा परिषद् (Global Wind Energy Council, GWEC) की भारत में ऑफशोर पवन ऊर्जा को प्रारंभ करने एवं आगे बढ़ाने की एक पहल है। किए गए आकलन के प्रारंभिक परिणामों के अनुसार अकेले तमिलनाडु के तट की क्षमता 80m हब ऊचाँई पर 127 GW थी। चित्र 1 में 6m/s एवं 8m/s से अधिक पवन गति वाले दिनों की संख्या को बताया गया है। NIWE से प्राप्त आंकड़ों ने बताया है कि रामेश्वरम और कन्याकुमारी, देश के दो बड़े ऑफशोर पवन विद्युत उत्पादन केन्द्र बन सकते हैं। तमिलनाडु (रामेश्वरम एवं कन्याकुमारी) के समुद्र तटों पर 6m/s एवं 8m/s से अधिक पवन गति वाले दिनों की संख्या क्रमशः 300 एवं 200 हैं। इन क्षेत्रों से 1 GW से अधिक पवन विद्युत उत्पादन अपेक्षित है[15,16]।

देश की एक शीर्षस्थ शैक्षणिक संस्था, भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान (IIT), गुजरात एवं तमिलनाडु से आँकड़े एकत्रित कर रही है। मंत्रालय द्वारा कम से कम एक वर्ष का आंकड़ा प्राप्त हो जाने पर राज्यों में निवेशकों से प्रस्ताव प्राप्त करने के संबंध में निर्णय लेने की योजना थी। मुम्बई की एक संस्था के शोधकर्ताओं द्वारा प्रकाशित अध्ययन रिपोर्ट में दावा किया गया है कि समुद्र का बढ़ता हुआ तापमान उक्त स्थानों पर के पवन फार्मों के लिए सहायक होगा। आज की स्थिति में ऑफशोर पवन फार्म की लागत अपेक्षाकृत बहुत अधिक है। ऑफशोर पवन मिलों को यूरोपीय संघ की सहायता से स्थापित किया जाएगा। संघ ने पवन ऊर्जा उत्पादन क्षमता के आकलन के लिए 4 मिलियन अमेरिकी डालर की वित्तीय सहायता प्रदान करने का वचन दिया था। इसके अतिरिक्त वे पवन फार्मों की स्थापना एवं उनके संचालन में भारतीय कम्पनियों को मार्गदर्शन भी देंगे। किए गए एक पूर्व-व्यवहार्यता परीक्षण में तमिलनाडु में 150 MW एवं 540 MW की पवन फार्म क्षमताओं के लिए डिजाइन पर अध्ययन किया गया। क्षेत्रों का चयन फाउण्डेशन स्क्रीनिंग तथा प्रचालन व रख-रखाव पर विचार करके किया गया। इस अध्ययन का प्रमुख निष्कर्ष था कि तमिलनाडु के दक्षिण तथा दक्षिण-पश्चिम तटीय क्षेत्र में गुजरात तटीय क्षेत्र की तुलना में ऑफशोर पवन विकास के लिए बेहतर संसाधन है। इसके पश्चात् भी गुजरात सरकार की उत्साहपूर्ण नीति क्रियान्वयन एवं भागीदारी जैसे कई महत्वपूर्ण कारणों से भारत की सबसे प्रथम 1 GW की ऑफशोर पवन परियोजना गुजरात में प्रस्तावित थी। हमारे देश ने ऑफशोर पवन उद्योग की ओर एक सम्भावना से भरपूर यात्रा की एक प्रतिबद्ध शुरुआत की है जिसमें कार्बन रहित, वहन किए जा सकने वाले तथा सुनिश्चित शक्ति की क्षमता है।

चित्र 2 में, समुद्र तल से 120m की औसत ऊँचाई (average mean sea level, amsl) पर विशिष्ट आर्थिक क्षेत्र



चित्र 1 – EEZ में 6m/s एवं 8m/s से अधिक पवन गति वाले दिनों की संख्या का अनुमान (INCOIS)[15]



चित्र 2 – 120m AGL पर संभावित अपतटीय पवन शक्ति क्षमता का मानचित्र[15]

चित्र 3 – भारत में प्रमुख पवन क्षेत्र वाले राज्यों में पवन टरबाइनों की 31 मार्च 2020 की स्थिति में संस्थापित क्षमता[8, 9]

(Exclusive Economic Zone, EEZ) तक अपतटीय पवन शक्ति क्षमता का मानचित्र दिखाया गया है।

गुजरात, ओडिशा एवं तमिलनाडु के समुद्र तटीय क्षेत्रों में अच्छी अपतटीय पवन शक्ति क्षमता की संभावना है।

यूरोपीय देशों और एशिया में चीन तथा जापान के द्वारा अपतटीय पवन ऊर्जा के क्षेत्र में सफलता प्राप्त की गई है। तद्पश्चात् के चरणों में, भारत के द्वारा यूरोपीय संघ के सहयोग से, वित्त पोषित परियोजनाओं के अंतर्गत अपतटीय पवन ऊर्जा विकास के प्रारंभिक कार्यों का शुभारंभ किया गया है।

राष्ट्रीय पवन ऊर्जा संस्थान के द्वारा FOWIND कंसोर्टियम के सहयोग से भारतीय समुद्र तट और तमिलनाडु में मन्नार की खाड़ी और गुजरात में खंभात की खाड़ी में चिन्हित 8 क्षेत्रों में पवन ऊर्जा संसाधन निर्धारण और प्रारंभिक व्यवहार्यता अध्ययन किया गया। FOWIND रिपोर्ट के आधार पर राष्ट्रीय पवन ऊर्जा संस्थान ने अध्ययन की जाँच और सत्यापन का शुभारंभ कर दिया है। FOWIND के द्वारा चिन्हित क्षेत्रों में से, FOWPI कंसोर्टियम के द्वारा निर्धारित एक विशिष्ट क्षेत्र में पवन ऊर्जा क्षेत्रों के विकास के लिए प्रारंभिक अध्ययन करने की योजना का कार्य प्रगति पर है।

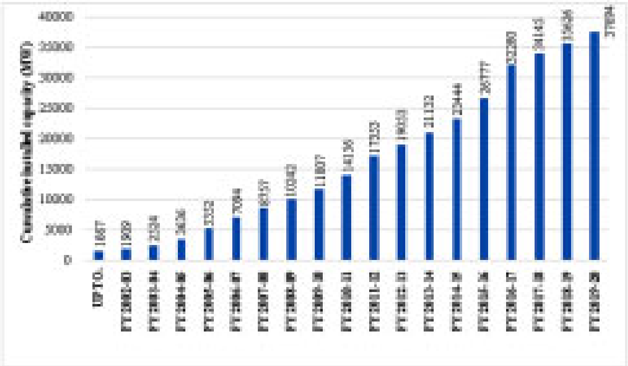
देश के प्रमुख राज्यों में वर्षवार पवन टरबाइनों की संस्थापित क्षमता

भारत में मजबूत पवन क्षेत्र वाले प्रमुख राज्यों में पवन टरबाइनों की 31 मार्च 2020 की स्थिति में संस्थापित क्षमता देश के मानचित्र पर चित्र 3 में दर्शाई गई है[17, 18]। देश की दक्षिणी-पश्चिमी समुद्र तटीय क्षेत्रों में स्थित सात राज्य, पवन क्षमता के मामले में बहुत धनी हैं और देश की कुल संस्थापित क्षमता का 99% से अधिक इन्हीं राज्यों में है। गुजरात, महाराष्ट्र, कर्नाटक एवं राजस्थान की संयुक्त रूप से संस्थापित क्षमता 57% से अधिक है।

चित्र से देखा जा सकता है कि 9304 MW क्षमता के साथ तमिलनाडु प्रथम स्थान पर है एवं इसके बाद क्रमशः गुजरात एवं महाराष्ट्र का स्थान आता है। विगत वर्षों में तेलंगाना एवं केरल ने भी अच्छी प्रगति की है और वे भी सूची में सम्मिलित होकर राज्यों की संख्या को 9 तक पहुँचा दिए हैं। वित्तीय वर्ष 2021-22 की समाप्ति तक तमिलनाडु की संस्थापित क्षमता 11900 MW तथा गुजरात की संस्थापित क्षमता 8000 MW तक हो जाने की अपेक्षा थी। लगभग 44.5% संस्थापनाएं तमिलनाडु एवं गुजरात राज्य में स्थित हैं जिससे ज्ञात होता है कि इन राज्यों ने बहुत ही प्रभावी पवन ऊर्जा नीति बनाई है। अन्य पिछड़ते राज्यों ने भी धीरे-धीरे ऐसी नीतियाँ विकसित करना प्रारंभ कर दिया है जो पवन ऊर्जा संस्थापनाओं के लिए निवेशकों का ध्यान आकर्षित कर सकें।

वर्ष 2002-03 से प्रत्येक वित्तीय वर्ष की समाप्ति पर भारत की संचयी संस्थापित पवन क्षमता चित्र 4 में बताई गई है।

वित्तीय वर्ष 2002-03 से 2019-20 तक वर्षवार संस्थापित पवन टरबाइनों की क्षमताओं (चित्र 4) के अवलोकन से स्पष्ट है कि 50% से अधिक संस्थापनाएं केवल पिछले 8 वर्षों में ही हुई हैं। पवन टरबाइन संस्थापनाओं में हो रही वृद्धि सरकार के प्रयासों



ाचत्र 4 – वष 2002.03 स प्रत्यक ावत्ताय वष का समााप्त पर भारत का सचया संस्थापित पवन क्षमता[15]

एवं नीतियों की सफलता को दर्शाती है। वित्तीय वर्ष 2001-02 में जो क्षमता मात्र 1.667 GW थी वह 2019-20 के अंत में 37.69 GW पहुँच गई तथा 2021-22 तक इसके 60 GW तक हो जाने की आशा है।

आकलित क्षमता के विरुद्ध संस्थापित क्षमता (Installed Capacity against the Estimated Potential)

सारणी 3 में कुछ महत्वपूर्ण राज्यों की आकलित क्षमता तथा इसके विरुद्ध वर्ष 2019-20 तक उनकी संचयी संस्थापनाओं को दर्शाया गया है।

वर्ष 2019-20 की समाप्ति पर प्रतिशत संस्थापना के आधार पर तमिलनाडु प्रथम तथा मध्य प्रदेश एवं राजस्थान क्रमशः दूसरे एवं तीसरे स्थान पर हैं। वर्ष 2019-20 की समाप्ति पर यद्यपि देश की संस्थापित क्षमता 37.69 GW हो गई है पर यह आकलित क्षमता 302.25 GW (100 m AGL पर) का मात्र 12.47% ही है। इस प्रकार पवन ऊर्जा संसाधन का केवल आंशिक दोहन ही हुआ है।

देश के पश्चिम समुद्र तट क्षेत्र पर 3 से 5m/s की वार्षिक पवन गति पाई गई है। जून से सितम्बर माह (मानसून) के दौरान पश्चिमी समुद्र तटीय क्षेत्र (मध्य) एवं दक्षिणी समुद्र तटीय क्षेत्रों में उच्च पवन गति (5m/s से अधिक) होती है। इसलिए पश्चिमी समुद्र तट के राज्य औसत उच्च गति के पवन के उपयोग की दृष्टि से बहुत उपयुक्त हैं। अन्तर्राष्ट्रीय नवीकरणीय ऊर्जा एजेन्सी (IRENA) के द्वारा किए गए अध्ययन जिसकी रिपोर्ट इंडियन एनर्जी आउटलुक 2016 में प्रकाशित हुई थी इस रिपोर्ट के अनुसार, भारत में पवन शक्ति क्षमता 2030 तक 185 GW तक बढ़ सकती है जो वर्ष 2014-15 की तुलना में (15 वर्षों के बाद) 8 गुना है। इसके लिए 2030 के पूर्व 42000 मिलियन अमेरिकी डॉलर के पूंजी निवेश की आवश्यकता होगी। ग्लोबल विंड एनर्जी

सारणी 3 – भारत में कुछ प्रमुख राज्यों की आकलित क्षमता तथा इसके विरुद्ध संस्थापित क्षमता (MW)

राज्य / संस्थापित क्षमता (MW) 2019-20 तक	आकलित क्षमता (MW) / आकलित क्षमता का 100 m ऊँचाई पर प्रतिशत संस्थापना
आन्ध्र प्रदेश	44228.60
4092.45	9.25
गुजरात	84431.33
7491.52	8.87
कर्नाटक	55857.36
4790.60	8.57
केरल	1699.56
62.50	3.67
मध्य प्रदेश	10483.88
2520.00	24.04
महाराष्ट्र	45394.34
5000.33	11.01
राजस्थान	18770.49
4300.0	22.90
तमिलनाडु	33799.65
9304.34	27.53
तेलंगाना	4244.29
128.3	3.02
अन्य	3342.00
4.30	0.13

काउन्सिल (GWEC) ने देश की पवन ऊर्जा क्षमता को वर्ष 2029-30 तक कहीं 111 GW से 165 GW के मध्य होने की भविष्यवाणी की है।

क्षमता वृद्धि : लक्ष्य एवं उपलब्धियाँ

पवन शक्ति में क्षमता वृद्धि को वर्षवार लक्ष्य के साथ सारणी 4 में दिखाया गया है। सारणी से देखा जा सकता है कि वर्ष 2014-15 से 2016-17 तक क्षमता वृद्धि ने लक्ष्य को पार कर लिया जबकि लगातार आगे के तीन वर्षों अर्थात् 2017-18 से 2019-20 में लक्ष्य को प्राप्त नहीं किया जा सका। वर्ष 2017-18 में 4 GW के निर्धारित लक्ष्य के विरुद्ध केवल 1.766 GW की संस्थापना (लक्ष्य से 56% कम) क्षमता वृद्धि में बहुत गिरावट को दर्शाता है साथ ही यह वर्ष 2016-17 की 5.4 GW की क्षमता वृद्धि की तुलना में बहुत कम है। गिरावट के प्रमुख कारक के रूप में विद्यमान FIT आधारित विद्युत क्रय समझौता (PPA) की ओर

सारणी 4 – पवन शक्ति क्षमता वृद्धि : लक्ष्य एवं उपलब्धियाँ

वित्तीय वर्ष	लक्ष्य (MW)	वर्ष के दौरान उपलब्धि (MW)	Excess(+)/ Shortfall(-) in %	संचयी उपलब्धि (MW)
2007-08	1500	1663	+11	8757
2008-09	2000	1485	-26	10242
2009-10	2500	1565	-37	11807
2010-11	2000	2349	+17	14156
2011-12	2400	3197	+33	17353
2012-13	2500	1700	-32	19053
2013-14	2500	2079	-17	21132
2014-15	2000	2312	+16	23444
2015-16	2400	3423	+43	26777
2016-17	4000	5400	+35	32280
2017-18	4000	1766.25	-56	34145
2018-19	4000	1480.97	-63	35626
2019-20	3000	2067.78	-31	37693.75

प्रवेश करने को माना जा सकता है। क्योंकि इसके पूर्व के FIT व्यवस्था की तुलना में नई प्रतिस्पर्धा वाली आधारित व्यवस्था में दरें बहुत घटी थीं। वर्ष 2017-18 एवं 2018-19 में लक्ष्य से बहुत पिछड़ने के बाद वर्ष 2019-20 में इसमें कुछ सुधार देखा गया। यद्यपि, इस वर्ष भी संस्थापना निर्धारित लक्ष्य से कम रही। अब अनेक बड़े आदेशों के जारी होने की अवस्था में होने से पवन सेक्टर में विकास का ग्राफ पुनः ऊपर जाएगा, ऐसी आशा है।

11वीं पंचवर्षीय योजना (2007-2011) के लिए 10.5 GW वृद्धि का लक्ष्य था जो कि प्राप्त नहीं हुआ। 12वीं पंचवर्षीय योजना (2011-16) के लिए 11.8 GW पवन क्षमता वृद्धि का लक्ष्य था और कुल 12.711 GW की संस्थापना के साथ इसे प्राप्त कर लिया गया। वर्ष 2016-17 की समाप्ति पर संचयी क्षमता जो कि 32.28 GW थी वह 2017-18 की समाप्ति पर 34.14 GW हो गई। विश्व संसाधन संस्थान (WRI) के अनुसार, पवन ऊर्जा नीति में लागू अद्यतन दिशा-निर्देशों तथा नीलामियों में प्रतिस्पर्धी दर बोली व्यवस्था के प्रारंभ हो जाने से क्षमता वृद्धि को और अधिक गति मिलने की सम्भावना है।

भारत में पवन से विद्युत उत्पादन

• भारत में पवन ऊर्जा से राज्यवार विद्युत उत्पादन- केन्द्रीय विद्युत प्राधिकरण (CEA) के अनुसार, भारत में विभिन्न वर्षों के दौरान पवन ऊर्जा से राज्यवार उत्पादित विद्युत की मात्रा को सारणी 5 में दिखाया गया है। वर्ष 2018-19 के आँकड़ों के अनुसार तमिलनाडु 12600 MU (Million Units) पवन विद्युत उत्पादन के साथ शीर्ष पर है जबकि गुजरात 11199.51 MU एवं कर्नाटक 9778.25 MU विद्युत उत्पादन के साथ क्रमशः दूसरे एवं तीसरे क्रम पर हैं। इसके अतिरिक्त आन्ध्र प्रदेश, महाराष्ट्र एवं राजस्थान कुछ प्रमुख पवन विद्युत उत्पादक राज्य हैं जहाँ उत्पादन 6000 MU से अधिक है।

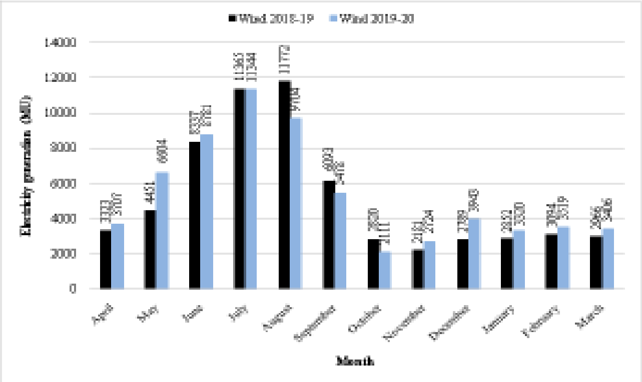
• भारत में पवन ऊर्जा से माहवार विद्युत उत्पादन - वर्ष 2018-19 एवं 2019-20 में देश में माहवार पवन से उत्पादित विद्युत की मात्राओं को चित्र 5 में बतलाया गया है। चित्र से देखा जा सकता है कि माह जून, जुलाई, अगस्त एवं सितम्बर में अधिक पवन विद्युत उत्पादित हुआ है जो कि अधिक पवन वाले माह भी होते हैं।

पवन शक्ति में विश्व पटल पर भारत की स्थिति

रिन्यूएबल एनर्जी पॉलिसी नेटवर्क (Renewable Energy Policy Network) की रिपोर्ट 2020[21] के अनुसार, वर्ष 2001 की समाप्ति से लेकर दिसम्बर 2019 की अवधि में वैश्विक पवन संस्थापना क्षमता में महत्वपूर्ण वृद्धि हुई है और दिसम्बर 2019 तक विश्व की सकल क्षमता 651 GW हो गई थी। 236.3 GW संचयी क्षमता के साथ चीन प्रथम स्थान पर एवं इसके बाद अमेरिका (105.6GW), जर्मनी (61.4GW) एवं भारत (37.5GW)

सारणी 5 – भारत में पवन से वर्षवार एवं राज्यवार विद्युत उत्पादन (Million Units) [17]

क्र.सं.	राज्य	2014-15	2015-16	2016-17	2017-18	2018-19
1.	राजस्थान	4053.85	4583.59	5562.52	5665.45	6322.94
2.	ऑयल इण्डिया लिमिटेड	117.78	183.77	201.61	225.79	80.85
3.	एन टी पी सी राजगढ़	0.00	0.00	0.00	41.86	86.07
4.	गुजरात	5660.09	6446.58	7720.01	9635.65	11199.51
5.	मध्य प्रदेश	592.25	1558.43	3563.17	4139.84	4828.17
6.	महाराष्ट्र	6804.8	6121.34	7490.75	6541.35	7575.14
7.	आन्ध्र प्रदेश	1675.82	2013.04	3187.85	6354.11	8869.86
8.	तेलंगाना	0.00	0.00	211.93	195.29	274.83
9.	कर्नाटक	4658.1	4797.95	6058.65	7410.29	9778.25
10.	केरल	58.4	51.45	72.59	98.46	107.94
11.	तमिलनाडु	10147.06	7273.23	11935.26	12358.01	12600.85
12.	बिहार	0.00	0.00	0.00	0.00	12.28
13.	ओडिशा	0.00	0.00	0.00	0.00	58.23
14.	पश्चिम बंगाल	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
15.	ऑयल इण्डिया लिमिटेड (मध्य प्रदेश एवं गुजरात)	0.00	0.00	0.00	0.00	241.47
	योग	33768.30	33029.39	46004.34	52666.09	62036.38



चित्र 5 – वित्तीय वर्ष 2018-19 एवं 2019-20 में देश में माहवार पवन से उत्पादित विद्युत की मात्रा (MU)[19,20]

थे। भारत की हिस्सेदारी 5.76% की थी। चीन की हिस्सेदारी 36.3% एवं इसके बाद अमेरिका की 16.2% तथा जर्मनी की 9. 43% थी।

विवेचना

विभिन्न नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतों में पवन ऊर्जा, ग्रिड से सम्बद्ध सबसे तेजी से वृद्धि करने वाला ऊर्जा प्रौद्योगिकी है। 31 मार्च 2020 की स्थिति में पवन ऊर्जा की कुल संस्थापित क्षमता 37.7 GW थी जो ग्रिड से सम्बद्ध सभी नवीकरणीय स्रोतों की कुल मात्रा का लगभग 43 प्रतिशत है। कुल ग्रिड सम्बद्ध नवीकरणीय शक्ति का 43 प्रतिशत होने के पश्चात् भी यह अपने स्वयं की आकलित क्षमता अर्थात् 302 GW (100 m agl पर) का केवल 12.47 प्रतिशत ही है जो बहुत ही सामान्य प्रतीत होती है। इसलिए यह अनुशंसनीय है किः

- मंत्रालय को चाहिए कि वह नए चिन्हित क्षेत्रों की परियोजनाओं की शुरुआत शीघ्र करें।
- भूमि की उपलब्धता, भू-आबंटन की प्रक्रिया, पावर निकासी (Power evacuation) एवं संचरण के लिए आवश्यक अधोसंरचना प्रमुख बाधाओं के रूप में देखे गए हैं, जिन्हें दूर करने हेतु नीतियों में आवश्यक सुधार एवं अधोसंरचना सुविधाओं का विकास किया जाना चाहिए।
- मंत्रालय को निजी उद्यमियों को अनुकूल वातावरण प्रदान करने एवं उनके माध्यम से पवन ऊर्जा से अधिकतम विद्युत उत्पादन के लिए एक धुरी (Pivot) की भूमिका निभानी चाहिए।

- स्थापित परियोजनाएं उचित ढंग से कार्य करते रहें, यह सुनिश्चित किया जाना चाहिए।

निष्कर्ष

भारत में पवन ऊर्जा की संस्थापित क्षमता/प्रगति

• ऑनशोर पवन- भारत सरकार के नवीन एवं नवीकरणीय ऊर्जा मंत्रालय के दिशा-निर्देशों तथा नीतिगत ढांचों के अधीन पवन ऊर्जा सेक्टर में बहुत अच्छी प्रगति देखी गई है। भारत की पवन शक्ति संस्थापित क्षमता जो कि 1992 में मात्र 41 MW थी वह 31 मार्च 2020 की स्थिति में 37.7 GW हो गई है। इसके साथ ही वित्तीय वर्ष 2018-2019 तथा 2019-2020 प्रत्येक में 10 GW की नीलामी की गई जिससे कि वित्तीय वर्ष 2021-2022 तक 60 GW के पवन (ऑनशोर और ऑफशोर) क्षमता को प्राप्त किया जा सके। मंत्रालय ने NIWE के साथ भारत की ऑफशोर पवन नीति की घोषणा की है तथा प्रदर्शन परियोजनाओं को बढ़ावा देने की दिशा में भी कार्य किया है। अब तक के प्रयासों से स्पष्ट है कि सरकार देश में पवन विद्युत सेक्टर के विकास के लिए कृत संकल्पित है।

• ऑफशोर पवन- 2013 में गुजरात तथा तमिलनाडु (कन्याकुमारी) के सागरीय तट पर ऑफशोर पवन शक्ति की पर्याप्त मात्रा की पहचान की गई थी। 1 GW के व्यावसायिक पवन फार्म के निर्माण के लिए उपयुक्त एवं योग्य संस्थानों से 'रुचि की अभिव्यक्ति' आमंत्रित की गई थी। FOWIND कर्न्सोटियम ने नवम्बर 2017 में गुजरात में LiDAR तथा सितम्बर 2018 में तमिलनाडु में LiDAR लगाया तथा गुजरात एवं तमिलनाडु को ऑफशोर पवन विद्युत के लिए दो वर्गीकृत क्षेत्रों के रूप में चिन्हित किया।

• संस्थापित क्षमता में भारत की विश्व में स्थिति- दिसम्बर 2019 की समाप्ति तक चीन, अमेरिका एवं जर्मनी के बाद भारत संस्थापित क्षमता की दृष्टि से विश्व में चौथे स्थान पर था। विश्व पवन विद्युत बाजार में भारत की हिस्सेदारी 5.76% की थी।

• पवन से विद्युत उत्पादन- वित्तीय वर्ष 2014.2015 में पवन से विद्युत उत्पादन की मात्रा 33768.31 MU थी वह बढ़कर 2019-2020 में 64646 MU हो गई जो कि पवन से विद्युत उत्पादन में तेजी से वृद्धि को दर्शाता है।

पवन ऊर्जा परियोजनाओं को प्रोत्साहित करने के लिए किए गए सरकार के उपायों की सफलता को देश में वार्षिक क्षमता वृद्धियों से स्पष्ट रूप में देखा जा सकता है। देश में संस्थापित एवं प्रक्रियाधीन पवन ऊर्जा परियोजनाओं की स्थिति से स्पष्ट रूप से कहा जा सकता है कि भारत न सिर्फ अपने पवन ऊर्जा संस्थापनाओं के लक्ष्य को प्राप्त करेगा अपितु उससे कहीं आगे निकल जाएगा और इस प्रकार देश के सतत् विकास में पवन ऊर्जा का एक अहम् योगदान होगा। भारत के अब तक के प्रयासों को अच्छा/संतोषप्रद कहा जा सकता है, परन्तु दीर्घ अवधि के लक्ष्यों को प्राप्त करने के लिए सुनियोजित एवं समन्वित प्रयास करने होंगे।

संदर्भ

1. Sangroya D & Nayak J, Development of wind Energy in India, *International Journal of Renewable Energy Research*, **5**(1), 2015.
2. Haselip Nygaard J, Hansen I, U. & Ackom E, Diffusion of renewable energy technologies case studies of enabling frameworks in developing countries technology transfer, *Perspectives Series* UNEP, 2011.
3. Global Wind Energy Council, VDMA/BWE: The German wind industry takes a breather. Brussels, Belgium, 2014.
4. Physical Progress (Achievements), Ministry of New and Renewable Energy, Government of India. https://mnre.gov.in/physical-progress achieve ments, May 2020.
5. Energy Statistics, Twenty Seventh issue, April 2020, Central Statistics Office, National Stastistical Organisation, Ministry of Statistics and Programme Implementation, Govt. of India, www.mospi.gov.in, 2020.
6. Wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_India.
7. Wind as a Source of Energy in India, *Current Science*, **30**(3), 95 January 1961.
8. Utilization of Wind Power in India, *Current Science*, **25**(6), 180-181, June 1956.
9. Anna Mani, *Wind Energy Resource Survey in India*-1, New Delhi; Allied Publishers Limited, p185, ISBN 81-7023-29k7-X, 1995.
10. Physical Progress (Achievements), Ministry of New and Renewable Energy, Government of India. http s://mnre.gov.in/physical-progress-achievements, May 2015.
11. Tentative State-wise break-up of Renewable Power Target to be achieved by the year 2022 So that the cummulative achievement is 175 GW, mnre.gov.in.

12. Shambhu Ratan Awasthi, Wind power: practical aspects, 1st ed. New Delhi, India: The Energy and Resources Institute Press (TERI), pp. 1- 4.

13. Wind Power Potential at 100m agl, Naional Institue of Wind Wnergy, MNRE https://niwe.res.in/ department _wra_100m%20 agl.php.

14. G. Upadhyay, National Offshore Wind Energy Policy 2015 - Ministry of New and Renewable Energy (MNRE), Available: http://mnre.gov.in/file-manager/ UserFiles/National-Offshore-Wind-Energy - Policy.pdf , 2015.

15. India's Wind Potential Atlas at 120m agl, Naional Institue of Wind Wnergy, MNRE https:// niwe. res. in /assets/ Docu/India's_ Wind_Potential_ Atlas_at_120m_agl.pdf.

16. National Offshore Wind Energy Policy. Ministry of New and Renewable Energy, Government of India (Wind Energy Division) No. 51/58(Cab.)/2011-WE. http:// www. fowind.in/uploads/default/ ?les/ news/ stuff/ 83f27fc 705a9090f00da25ccc76e0b9d.pdf.

17. Annual Report 2019-20, Central Elecreicity Authority, Ministry of Power, Govt. of India.

18. Total Installed Capacity, Central Electricity Authority, Government of India, Executive Summary on Power Sector, June 2020.

19. Press Information Bureau, Government of India, Ministry of New and Renewable Energy,12 Dec. 2019 5:35PM by PIB Delhi. Accessed on https:// pib.gov.in/Pressreleaseshare.aspx?PRID=1596217 on 22/4/2020.

20. Power sector-Monthly Executive Summary Report, Central Electricity Authority of India, March 2018.

21. Renewable Energy Policy Network for the 21st century (REN 21), Renewables 2020, Global Status Report, Paris, France, 2019.