



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μέλετη-Περιγραφή της πρόσφατης ολικής σβέσης
(black-out) στην Πολιτεία του Τέξας, ΗΠΑ (17-02-
2021)

Δομουχτής Νικόλαος

A.M.: HN07368

Επιβλέπων: Δρ. Πασχάλης Α. Γκαϊδατζής

(Υπογραφή)

.....

ΔΟΜΟΥΧΤΣΗΣ Σ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Τ.Ε., ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

© 2022 – All rights reserved

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παγωνιά που έκανε στο Τέξας τον Φεβρουάριο του 2021 άφησε περισσότερους από 4,5 εκατομμύρια πελάτες και περισσότερους από 10 εκατομμύρια ανθρώπους χωρίς ηλεκτρική ενέργεια, για αρκετές ημέρες. Αυτή η παγωνιά είχε κλιμακωτές επιπτώσεις σε άλλες υπηρεσίες που εξαρτώνται από την ηλεκτρική ενέργεια, συμπεριλαμβανομένης της υπηρεσίας ύδρευσης και των νοσοκομείων. Οι οικονομικές απώλειες. Στον απόηχο του Συμβάντος, υπήρξαν σημαντικές συνέπειες μεταξύ των διαχειριστών και των επιχειρήσεων κοινής ωφελείας, καθώς οι φορείς προσπάθησαν να επιμερίσουν τις ευθύνες. Οι εταιρείες κοινής ωφέλειας και οι παραγωγοί βρέθηκαν σε ρήξη. Αυτό το κομμάτι προσφέρει επίσης μια αναδρομή σχετικά με το τι προκάλεσε τα μπλακ άουτ, τις επακόλουθες οικονομικές και πολιτικές επιπτώσεις και τις συνέπειες για το Τέξας και τη χώρα στο μέλλον.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθεί το Συμβάν, οι συνέπειες που είχε στους πολίτες τους Τέξας και στις γύρω περιοχές καθώς και τις αιτίες που οδήγησαν στη αναποτελεσματική πρόληψη. Τέλος παρατίθενται κάποιες προτάσεις και λύσεις για το παραπάνω Συμβάν οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεταγενέστερα για αποφυγή παρόμοιων περιστατικών.

Λέξεις κλειδιά: Ενεργειακά συστήματα, Ηλεκτρισμός, Ενέργεια, Τέξας

ABSTRACT

The frozen storm that hit Texas the last February (2021) left more ten million people without electricity for several days. This event has had a strong impact on services that are depended on electricity, including of course, potability water processing and health care services. The great financial loss from had been estimated at 130 billion only in the state of Texas. In the aftermath of the freeze, there were significant repercussions between regulators and utilities, as players sought to share responsibilities and utilities and producers began to clear accounts. This investigation provides an analysis of the reasons that caused the blackouts and harmful effects on the services mentioned before, the retrospective political and economic results of the frost, and the consequent impacts for Texas and the whole country.

Feedback between faults in both demand and production systems has worsened the situation. In total, the state faced 30 GW of power outages as demand reached unprecedented levels. The gap between production and demand has obliged the ERCOT's (Electric Reliability Council of Texas) operator, to disconnect ten million customers. This event suggests the importance of reconsideration of the Texas's approach to energy systems to avoid similar consequences in the future. Weather conditions, demand response and expanded transnational interconnections are possible solutions that Texas must consider to avoid production losses, reduce demand and harness the capacity of neighboring states.

The purpose of this study is to investigate the incident, the consequences it had on Texas citizens and surrounding areas as well as the causes that led to ineffective prevention and action respectively in the case of a severe frost like that of February. Finally, some suggestions and solutions for the above event are listed which can be guided to avoid other similar incidents.

Keywords: Energy systems, Electricity, Reliability, Texas

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

BES (Bulk Electric System): Μαζικό Δίκτυο Μεταφοράς ΜΔΜ

ERCOT (Electric Reliability Council of Texas): Συμβούλιο Ηλεκτρικής Αξιοπιστίας του Τέξας ΣΗΑΤ

MISO (Midcontinent Independent System Operator): Ενδοηπειρωτικός Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΕΑΔΜΗΕ

SPP (Southwest Power Pool): Νοτιοδυτική Δεξαμενή Ηλεκτρικής Ενέργειας ΝΔΗΕ

NERC (North American Electric Reliability Corporation): Εταιρεία Ηλεκτρικής Αξιοπιστίας της Βόρειας Αμερικής ΕΗΑΒΑ

FERC (Federal Energy Regulatory Commission): Ομοσπονδιακή Ρυθμιστική Επιτροπή Ενέργειας ΟΡΕΕ

PUCT (Public Utility Commission of Texas): Επιτροπή Κοινής Ωφέλειας του Τέξας ΕΚΩΤ

RRC (The Railroad Commission): Επιτροπή Σιδηροδρόμων ΕΣ

GO (Generator Owner): Ιδιοκτήτης Γεννήτριας ΙΓ

QSE (Qualified Scheduling Entities) : Πιστοποιημένοι Φορείς Προγραμματισμού ΠΦΠ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΤΟ ΣΥΜΒΑΝ.....	12
Σύνοψη του Συμβάντος.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ.....	20
Προσφορά και ζήτηση.....	28
Η περίπτωση της Griddy	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : ΒΑΣΙΚΑ ΕΥΡΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΙΤΙΕΣ.....	31
Αιτίες Διακοπών Μονάδων Παραγωγής	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ.....	50
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	70

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής (MW) ανά τύπο καυσίμου	23
Πίνακας 2: Γραμμές σύνδεσης μετάδοσης μεταξύ MISO και SPP διαχειριστών	25
Πίνακας 3: Υποαιτίες παγώματος ERCOT, SPP και MISO Νότιας Μονάδας Παραγωγής.....	38
Πίνακας 4: Αιτίες Διακοπών παραγωγής φυσικού αερίου, 8-20 Φεβρουαρίου 2021	46
Πίνακας 5: Αιτίες Διακοπών παραγωγής φυσικού αερίου για τις 14 Φεβρουαρίου, 9:00 π.μ. έως 15 Φεβρουαρίου, 9:00 π.μ. (συμπεριλαμβανομένου τμήματος του Συμβάντος ERCOT Load Shed) ...	46
Πίνακας 6: Αιτίες Συμβάντος παραγωγής φυσικού αερίου – 17 Φεβρουαρίου, 9:00 π.μ. έως 18 Φεβρουαρίου, 9:00 π.μ. Ημέρα Μέγιστης Απώλειας Παραγωγής Φυσικού Αερίου	47
Πίνακας 7: Διακοπές, μειώσεις ή αστοχίες εκκίνησης της μονάδας παραγωγής φυσικού αερίου λόγω προβλημάτων τροφοδοσίας καυσίμου φυσικού αερίου - Πριν και μετά την εγκατάλειψη φορτίου επιχείρησης ERCOT	47
Πίνακας 8: Αιτίες Συμβάντων εγκατάστασης επεξεργασίας φυσικού αερίου για συγκεκριμένα χρονικά πλαίσια	48
Πίνακας 9: Ρυθμίσεις μονάδων παραγωγής φυσικού αερίου που αντιμετώπισαν διακοπές σε όλη την περιοχή εμφάνισης του Συμβάντος	61

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Όρια μεταξύ των διαφόρων διαχειριστών Συστημάτων Ηλεκτρικής ενέργειας στην ευρύτερη περιοχή	18
Εικόνα 2: Δριμείες καιρικές συνθήκες ψύχους - 15 Φλεβάρη του 2021 .	19
Εικόνα 3: Χάρτης Ηλεκτρικών Διασυνδέσεων	24
Εικόνα 4: Διασυνδέσεις MISO	26
Εικόνα 5: Διακοπές παραγωγής, μειώσεις και αστοχίες εκκίνησης (MW) ανά τύπο καυσίμου, 8-20 Φεβρουαρίου, Συνολική περιοχή Συμβάντων	31
Εικόνα 6: Αριθμός σταδιακών μη προγραμματισμένων διακοπών παραγωγής, μειώσεων και αποτυχιών εκκίνησης κατά τύπο καυσίμου, 8-20 Φεβρουαρίου.....	32
Εικόνα 7: Διακοπές παραγωγής, μειώσεις και αποτυχίες εκκίνησης (MW) ανά τύπο καυσίμου, 8-20 Φεβρουαρίου.....	32
Εικόνα 8: Αριθμός μονάδων παραγωγής που αντιμετώπισαν διακοπή ή μείωση ανά τύπο καυσίμου.	33
Εικόνα 9: Αύξηση απρογραμμάτιστων διακοπών κατά Αιτία, 8-20 Φεβρουαρίου, Συνολική περιοχή Συμβάντων	34
Εικόνα 10: Συνολική Απώλεια MW κατά Αιτία, 8-20 Φεβρουαρίου, Συνολική περιοχή Συμβάντων	34
Εικόνα 11: Προβλήματα καυσίμου – Όλοι οι τύποι παραγωγής	43
Εικόνα 12: Ημερήσια Παραγωγή Φυσικού Αερίου (Ιανουάριος - Φεβρουάριος 2021)	44
Εικόνα 13: Συνολική μη διαθέσιμη παραγωγή στην περιοχή Συμβάντων ανά τύπο καυσίμου, 8-20 Φεβρουαρίου 2021	49
Εικόνα 14: Δυνατότητα σταθερού αγωγού, 1-28 Φεβρουαρίου 2021 από αγωγούς δειγματοληψίας στην Οκλαχόμα, Τέξας, Λουιζιάνα και Κάνσας	62
Εικόνα 15: Δυνατότητα διακοπής αγωγού, 1-28 Φεβρουαρίου 2021, στους αγωγούς δειγματοληψίας στην Οκλαχόμα, Τέξας, Λουιζιάνα και Κάνσας.....	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αυτή η εργασία περιγράφει το δριμύ κρύο που συνέβη μεταξύ 8 και 20 Φεβρουαρίου 2021 και πώς αυτό επηρέασε την αξιοπιστία του BES¹ (Bulk Electric System: Μαζικό Δίκτυο Μεταφοράς ΜΔΜ, κοινώς γνωστό ως δίκτυο μεταφοράς από 100 kV και άνω) στο Τέξας και στις Νότιες Κεντρικές Ηνωμένες Πολιτείες (στο εξής γνωστό ως «το Συμβάν»). Κατά τη διάρκεια του Συμβάντος, ακραία χαμηλές θερμοκρασίες και σφοδρή χιονόπτωση οδήγησαν 1.045 μεμονωμένες μονάδες παραγωγής BES, (με συνδυασμένη ονομαστική εγκατεστημένη ισχύ 192.818 MW) στο Τέξας και στις Νότιο Κεντρικές Ηνωμένες Πολιτείες να αντιμετωπίσουν 4.124 διακοπές, μειώσεις ή αποτυχίες εκκίνησης. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι μονάδες παραγωγής να κινδυνεύσουν, και μάλιστα να υποστούν πολλαπλές διακοπές λειτουργίας. Η εργασία εκτός των άλλων αποσκοπεί στο να παρέχει πληροφορίες σχετικά με το πόσο σημαντικές ήταν οι διακοπές λειτουργίας των μονάδων παραγωγής, προγραμματισμένες ή απρογραμματίστες. Στο αποτύπωμα του ERCOT (Electric Reliability Council of Texas -) σημειώθηκαν περίπου 34.000 MW ανεπαρκούς παραγωγής για περισσότερες από δύο ημέρες συνεχόμενα, από τις 7:00 π.μ. 15 Φεβρουαρίου έως 1:00 μ.μ. 17 Φεβρουαρίου, που ισοδυναμεί με σχεδόν το ήμισυ της μέσης ηλεκτρικής αιχμής χειμερινού φορτίο 69.871 MW.

Ένα αρκτικό μέτωπο περνά από το Τέξας τις πρώτες πρωινές ώρες της 15 Φεβρουαρίου 2021. Καθώς οι θερμοκρασίες έπεφταν, όλο και περισσότερες μονάδες παραγωγής σε όλο το Τέξας έβγαιναν εκτός λειτουργίας. Το ίδιο μέτωπο οδήγησε, σε μικρότερο βαθμό, να βγουν εκτός μονάδες παραγωγής στην Νότιο Κεντρική Αμερική, Midcontinent Independent System Operator (MISO: Ενδοηπειρωτικός Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΕΑΔΜΗΕ) Southwest Power Pool (SPP: Νοτιοδυτική Δεξαμενή Ηλεκτρικής Ενέργειας ΝΔΗΕ). Στην απώλεια παραγωγής και διατήρηση του ηλεκτρικού συστήματος από κλιμακωτές διακοπές και ολική σβέση, οι διαχειριστές του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας του ERCOT άρχισαν να εκδίδουν αποφάσεις για εκ περιτροπής διακοπές ρεύματος σε πελάτες.

¹NERC Glossary of Terms at https://www.nerc.com/pa/Stand/Glossary%20of%20Terms/Glossary_of_Terms.pdf.

Το Συμβάν αυτό ήταν το τέταρτο Συμβάν που σχετίζεται με το κρύο τα τελευταία δέκα χρόνια, που έθεσε σε κίνδυνο την αξιοπιστία του BES,² και σε συνδυασμό με 23.418 MW χειροκίνητου σταθερού φορτίου (περιοδικές διακοπές λειτουργίας), ήταν το μεγαλύτερο ελεγχόμενο Συμβάν υπερφόρτωσης στην ιστορία των Η.Π.Α.. Σε καθένα από τα τέσσερα γεγονότα που σχετίζονται με το BES, προγραμματισμένες και απρογραμματίστες διακοπές λειτουργίας, προκάλεσαν έκτακτα περιστατικά και το 2011, το 2014 και το 2021 προκάλεσαν την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα. Οι απρογραμματίστες διακοπές παραγωγής που κλιμακώθηκαν κατά τη διάρκεια του Συμβάντος ήταν σχεδόν τριπλάσιες από το προηγούμενο μεγαλύτερο Συμβάν, το 2011 (65.622 MW έναντι 14.702 MW).

Συνολικά, περισσότεροι από 4,5 εκατομμύρια άνθρωποι στο Τέξας έμειναν χωρίς ρεύμα για τέσσερις ημέρες κατά τη διάρκεια εκδήλωσης του συμβάντος. Τουλάχιστον 210 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους, με τους περισσότερους από τους θανάτους να συνδέονται με διακοπές ρεύματος και άλλες αιτίες όπως η υποθερμία, η δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα και ιατρικές καταστάσεις που επιδεινώνονταν από τις παγωμένες συνθήκες που επικρατούσαν.³ Σε πόλεις όπως το Όστιν, το Χιούστον και το Σαν Αντόνιο, πάνω από 14 εκατομμύρια άνθρωποι διατάχθηκαν να βράσουν πόσιμο νερό και πολλές πόλεις διέταξαν μέτρα εξοικονόμησης νερού, λόγω σπασμένων σωλήνων και διακοπές ρεύματος (που μείωσαν την πίεση του νερού).⁴ Αφού η πόλη Ντέντον του Τέξας έχασε την παροχή αερίου, αναγκάστηκε να διακόψει το ρεύμα σε γηροκομεία καθώς και τα αντλιοστάσια.⁵

Αναλυτές της Federal Reserve Διαχειριστώνηκ του Ντάλας εκτίμησαν ότι οι διακοπές προκάλεσαν άμεσες και έμμεσες απώλειες για την οικονομία του Τέξας μεταξύ 80 και 130 δισεκατομμυρίων δολαρίων.⁶ Μια ξεχωριστή «Federal Reserve» ανάλυση της

² Report on Outages and Curtailments During the Southwest Cold Weather Event of February 1-5, 2011: Causes and Recommendations (Aug. 2011) (<https://www.ferc.gov/sites/default/files/2020-07/OutagesandCurtailmentsDuringtheSouthwestColdWeatherEventofFebruary1-5-2011.pdf>) (hereafter, 2011 Report).

³ Andrew Weber, Texas Winter Storm Toll Goes Up to 210, Including 43 Deaths in Harris County, Houston Public Media (July 14, 2021), <https://www.houstonpublicmedia.org/articles/news/energy-environment/2021/07/14/403191/texas-winter-storm-death-toll-goes-up-to-210-including-43-deaths-in-harris-county/>.

⁴ Elizabeth Findell, Texas Cities Under Boil-Water Orders, The Wall Street Journal (Feb. 19, 2021), <https://www.wsj.com/articles/texas-cities-under-boil-water-orders-11613671450>

⁵ A Response to the February 2021 Winter Storm (Jun. 24, 2021), <https://www.sanantonio.gov/Portals/5/files/CEP%20Report%20Final.pdf>

⁶ Garrett Golding et al., Cost of Texas' 2021 Deep Freeze Justifies Weatherization, Dallas Fed Economics (Apr. 15, 2021), <https://www.dallasfed.org/research/economics/2021/0415>.

Διαχειριστώνηκ of Dallas περιέγραψε την επίδραση στον τομέα των πετροχημικών και της διύλισης, ως «τυφώνα», συγκρίσιμο με τον τυφώνα Ike του 2008, με πτώση 50 %τον Φεβρουάριο του 2021 σε σχέση με τον Ιανουάριο. Προέβλεψε ακόμη ότι οι αλυσίδες εφοδιασμού θα συνεχίσουν να υποφέρουν μέχρι το τέλος του 2021 λόγω των φαινομένων του Φεβρουαρίου.⁷

⁷ Jesse Thompson, Texas Winter Deep Freeze Broke Refining, Petrochemical Supply Chains, Southwest Economy (Second Quarter 2021), <https://www.dallasfed.org/research/swe/2021/swe2102/swe2102c>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΤΟ ΣΥΜΒΑΝ

Σύνοψη του Συμβάντος

Ιστορική αναδρομή

Το 2011, το Τέξας χτυπήθηκε από την χιονοθύελλα Groundhog Day μεταξύ 1 και 5 Φεβρουαρίου, με αποτέλεσμα να απενεργοποιηθεί το 75% της πολιτείας. Πολλοί δρόμοι γύρω από το Χιούστον είναι αδιάβατοι και σε πολλές περιοχές μάλιστα έχουν εκδοθεί συστάσεις για το πόσιμο νερό. Στον απόηχο της καταστροφής, η North American Electric Reliability Company (NERC: Εταιρεία Ηλεκτρικής Αξιοπιστίας Βόρειας Αμερικής ΕΗΑΒΑ) έκανε πολλές συστάσεις για την αναβάθμιση της ηλεκτρικής υποδομής του Τέξας για την αποφυγή παρόμοιων περιστατικών στο μέλλον, αλλά αγνοήθηκαν. Εκείνη την εποχή, οι διακοπές ρεύματος και οι βλάβες του δικτύου παρομοιάστηκαν με αυτό που συνέβη τον Δεκέμβριο του 1989. Μετά από εκείνη την καταστροφή είχαν γίνει παρόμοιες συστάσεις στην πολιτειακή κυβέρνηση και στο ERCOT, οι οποίες αγνοήθηκαν παντελώς.⁸ Στις 16 Αυγούστου 2011, η Ομοσπονδιακή Ρυθμιστική Επιτροπή Ενέργειας δημοσίευσε μια έκθεση (357 σελίδων) ως απάντηση στο μπλακ άουτ του Φεβρουαρίου 2011 στο Τέξας.⁹

Τον Φλεβάρη του 2021, μια σειρά από σφοδρές καταιγίδες σάρωσαν τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Η έκρηξη προκλήθηκε από πολικά ωκεάνια ρεύματα, ιδιαίτερα στα νότια τμήματα, και γρήγορα επεκτάθηκαν και βόρεια, προκαλώντας την πολική δίνη και μεταφέροντας κρύο αέρα σε όλη τη χώρα. Το συγκεκριμένο καιρικό φαινόμενο οδήγησε σε τρομερά χαμηλές θερμοκρασίες ρεκόρ σε όλο το Τέξας. Οι θερμοκρασίες που σημειώθηκαν στο Ντάλας, στο Ώστιν, στο Χιούστον και στο Σαν Αντόνιο ήταν χαμηλότερες από το Άνκορατζ της Αλάσκας..

10 Φλεβάρη: Μια χειμερινή καταιγίδα σχηματίστηκε στη βόρεια ακτή του Κόλπου, που έριξε σημαντική ποσότητα χιονόνερου και πάγου σε πολλές πολιτείες στην κοιλάδα του Οχάιο, όπως το Τέξας, η Τζόρτζια, η Λουιζιάνα, το Αρκάνσας και οι πολιτείες της ανατολικής ακτής του Τενεσί. Ακολούθησε δεύτερη καταιγίδα στον

⁸ "Report on Outages and Curtailments during the Southwest Cold Weather Event of February 1-5, 2011 - Causes and Recommendations" (PDF). Federal Energy Regulatory Commission. August 2011.

⁹ FERC (August 2011). "Report on Outages and Curtailments During the Southwest Cold Weather Event of February 1-5, 2011" NERC. Retrieved May 25, 2021.

Βορειοδυτικό Ειρηνικό (13 Φεβρουαρίου) η οποία εξελίχθηκε σε οργανωμένη καταιγίδα και κινήθηκε προς το Τέξας. Ανέβηκε καθώς έστριψε προς τις βορειοανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες. Πριν χωριστεί στη μέση - το ένα μισό συνέχισε στο Κεμπέκ και το άλλο μισό μετακινήθηκε πάνω από τον Ατλαντικό Ωκεανό. Η καταιγίδα, μαζί με πολλές άλλες που σημειώθηκαν τις προηγούμενες δύο εβδομάδες, επηρέασε περισσότερο από το 75 τοις εκατό των Η.Π.Α.. Η καταιγίδα άφησε άμεσα σχεδόν 10 εκατομμύρια σπίτια χωρίς ρεύμα, συμπεριλαμβανομένων 5,2 εκατομμυρίων στις Ηνωμένες Πολιτείες. Μια τρίτη καταιγίδα διαδέχτηκε τις άλλες δυο προκαλώντας άλλες 4 εκατομμύρια διακοπές ρεύματος και 29 θανάτους. 23 από αυτούς στις Ηνωμένες Πολιτείες. Τουλάχιστον 210 νεκροί σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια των φαινομένων.

Ως τις 17 του Φλεβάρη, 21 άνθρωποι είχαν χάσει τη ζωή τους από τις επιπτώσεις των καιρικών φαινομένων. Στις 19 Φεβρουαρίου, ο αριθμός αυτός είχε αυξηθεί σε 32, με τους θανάτους να συνδέονται με δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα, πυρκαγιές σε σπίτια, τροχαία ατυχήματα, πνιγμούς, και υποθερμία. Στις 21 Φεβρουαρίου, ο αριθμός των νεκρών είχε αυξηθεί σε 70. Από τις 14 Ιουλίου 2021 ο συνολικός αριθμός νεκρών αναφέρθηκε σε 210¹⁰.

Σβέσεις ηλεκτρικής ενέργειας

Αναφορικά με το Τέξας, εκτός από τα προβλήματα εξοπλισμού, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σημείωσε ρεκόρ (69.692 μεγαβάτ MW) στις 14 Φεβρουαρίου. Ήταν κατά 3.200 MW υψηλότερη από την προηγούμενη (τον Ιανουάριο του 2018) και κατά 12.329 MW υψηλότερη από την τρέχουσα ισχύ του. Το Συμβούλιο Ηλεκτρικής Αξιοπιστίας του Τέξας (ERCOT) ξεκίνησε προγραμματισμένες διακοπές στις 1:25 π.μ. στις 15 Φεβρουαρίου. Οι διακοπές προστάτευσαν την ολοκληρωτική καταστροφή του δικτύου, ένα σενάριο που θα μπορούσε να προκαλέσει πυρκαγιά στον εξοπλισμό και πτώση των γραμμών ρεύματος. Στο αποκορύφωμα των έντονων καιρικών φαινομένων, περισσότεροι από 5 εκατομμύρια άνθρωποι στο Τέξας έμειναν χωρίς ρεύμα, ορισμένοι για περισσότερες από τρεις ημέρες.

Κατά τη διάρκεια των διακοπών, οι τιμές χονδρικής ηλεκτρικής ενέργειας έφτασαν τα 9.000 \$/MWh, το οποίο περιορίστηκε ως "ανώτατο όριο συστήματος" σε σύγκριση με

¹⁰ Texas Department of State Health Services. "Winter Storm-Related Deaths – July 13, 2021". Retrieved June 22, 2021.

ένα τυπικό 50 \$/MWh. Οι πελάτες με σχέδια τιμολόγησης με βάση τις τιμές χονδρικής, αντιμετώπισαν μεγάλους λογαριασμούς. Μερικοί πελάτες, οι οποίοι είχαν συνάψει συμβάσεις με τον πάροχο Griddy, ήταν εγγεγραμμένοι σε τιμολόγια χονδρικής μεταβλητών επιτοκίων, βρέθηκαν αντιμετώπι με λογαριασμούς άνω των 5.000 δολαρίων για πέντε ημέρες υπηρεσίας κατά τη διάρκεια της καταιγίδας. Οι τιμές χονδρικής παρέμειναν γύρω στα 9.000 δολάρια για περίπου τέσσερις ημέρες, ένα ανώτατο όριο που έθεσε το συμβούλιο αξιοπιστίας του Τέξας.

Ελλείψεις αγαθών

Πάνω από 12 εκατομμύρια άνθρωποι έμειναν δίχως νερό λόγω παγώματος και καταστροφής των αγωγών ύδρευσης. Τα συστήματα ύδρευσης είχαν βγει εκτός λειτουργίας σε περιοχές όπου κατοικούσαν πάνω από 200.000 άνθρωποι. Στις 17 Φεβρουαρίου, οι κάτοικοι του Όστιν έμειναν χωρίς νερό για λόγους ασφάλειας του δικτύου ύδρευσης καθώς η ζήτηση για νερό στην πόλη ήταν πάνω από 2,5 φορές του διαθέσιμου. Από τις 18 Φεβρουαρίου, η πόλη έχει χάσει περίπου 1.230 εκατομμύρια λίτρα νερού λόγω προβλημάτων του δικτύου ύδρευσης. Σχεδόν 12 εκατομμύρια άνθρωποι είχαν λάβει συμβουλή να βράζουν νερό βρύσης πριν το πιούν λόγω της χαμηλής πίεσης κατά μήκος όλου του δικτύου.

Προβλήματα που απορρέουν από την έλλειψη πόσιμου νερού.

Λόγω των δυσμενών καιρικών συνθηκών και των εκτεταμένων διακοπών ρεύματος, τα περισσότερα καταστήματα σε όλη την επικράτεια δεν μπορούσαν να συμβαδίσουν με την αυξημένη ζήτηση για τρόφιμα και άλλα είδη πρώτης ανάγκης. Πολλά καταστήματα αναγκάστηκαν να κλείσουν λόγω διακοπής ρεύματος και, από αυτά που παρέμειναν ανοιχτά, τελείωσαν εντελώς πολλά βασικά είδη όπως ψωμί, γάλα και αυγά. Οι αξιωματούχοι μάλιστα προειδοποίησαν ότι οι ελλείψεις μπορεί να μην είναι βραχυπρόθεσμες.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Αναφέρεται ότι οι εκπομπές ρύπων αυξήθηκαν λόγω της διαταραχής εκκίνησης των υποδομών με ορυκτά καύσιμα (χημικά εργοστάσια, διυλιστήρια κλπ). Αυτά περιελάμβαναν έναν τόνο καρκινογόνου βενζολίου, δύο τόνους διοξειδίου του θείου, δώδεκα τόνους φυσικού αερίου και τριάντα τεσσερις τόνους μονοξειδίου του άνθρακα.

Ανησυχίες για την υγεία

Ο συνδυασμός θερμοκρασιών υπό του μηδενός και η απώλεια ισχύος, οδήγησε τους ανθρώπους να επιλέξουν επικίνδυνους τρόπους θέρμανσης των σπιτιών τους. Σημειώθηκαν περιπτώσεις δηλητηρίασης από μονοξείδιο του άνθρακα, καθώς χρησιμοποιήθηκαν οχήματα και γεννήτριες για την παραγωγή θερμότητας σε εσωτερικούς χώρους. Ο Αριθμός των περιπτώσεις δηλητηριάσεων από μονοξείδιο του άνθρακα ανέρχεται σε 300.¹¹

Συσχέτιση COVID-19

Τα μέτρα αντιμετώπισης της πανδημίας COVID-19 από την πολιτεία του Τέξας παρεμποδίστηκαν ως ένα βαθμό από τη διακοπή ρεύματος Η παροχή νερού και δικτύου διακόπηκε από τα νοσοκομεία. Τα νοσοκομεία εξακολουθούσαν να λειτουργούν με τις δικές τους γεννήτριες. Οι παραδόσεις εμβολίων είχαν καθυστερήσει και οι εγκαταστάσεις που δεν θα μπορούσαν να αποθηκεύσουν με ασφάλεια τα εμβόλια, κλήθηκαν να παραδώσουν όσο το δυνατόν περισσότερα εμβόλια. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα εμβόλια είχαν καθυστερήσει λόγω κακής κατάστασης του οδικού δικτύου. Χάθηκαν περίπου 1.000 δόσεις εμβολίου.¹²

Προβλήματα υγείας

Πολλοί άνθρωποι ήρθαν αντιμέτωποι με παγετούς στο σπίτι τους καθώς οι διακοπές ρεύματος συνεχίστηκαν σε ολόκληρη την πολιτεία. Οι χαμηλές θερμοκρασίες προκάλεσαν τον θάνατο ενός εντεκάχρονου αγοριού και ενός ηλικιωμένου εβδομήντα πέντε ετών μεταξύ άλλων¹³.

Διερευνήσεις

Στις 16 Φεβρουαρίου 2021, ο κυβερνήτης Γκρεγκ Άμποτ δήλωσε ότι η μεταρρύθμιση του ERCOT αποτελεί προτεραιότητα έκτακτης ανάγκης για τον κρατικό νομοθέτη και

¹¹ "Texas Officials Warn Of Carbon Monoxide Poisoning; At Least 17 Deaths Tied to Winter Storm Uri". weather.com. Retrieved May 28, 2021.

¹² Brooks, Brad (February 19, 2021). "Cold, lack of water overwhelm Texas hospitals more than COVID-19 did". Reuters. Reuters. Retrieved May 28, 2021.

¹³ Ingraham, Christopher. "Analysis | Hypothermia, carbon monoxide and cold pets: Google searches underscore depth of crisis in Texas". Washington Post. ISSN 0190-8286. Retrieved May 28, 2021.

θα διεξαχθεί έρευνα για τη διακοπή ρεύματος για τον καθορισμό μακροπρόθεσμων λύσεων¹⁴.

Νομικά

Στις 19 Φεβρουαρίου 2021, υποβλήθηκε μήνυση στην κομητεία Nueces και έθεσε ισχυρισμούς εναντίον του ERCOT, υποστηρίζοντας ότι υπήρχαν επανειλημμένες προειδοποιήσεις για αδυναμίες στην υποδομή ηλεκτρικής ενέργειας του κράτους που αγνοήθηκαν. Μια άλλη μήνυση εναντία στο ERCOT κατατέθηκε στην κομητεία Fort Bend. Η εταιρεία επιβεβαιώνει κυρίαρχη ασυλία σε νομικά θέματα. Είναι ένα νομικό σώμα που προστατεύει κρατικές υπηρεσίες από αγωγές, Το ERCOT χρησιμοποίησε αυτήν την υπεράσπιση σε άλλες νομικές υποθέσεις, στο παρελθόν.¹⁵

Ακόμη υποβλήθηκε αγωγή εναντίον του πάροχου ηλεκτρικής ενέργειας Griddy του Τέξας. Αυτή αφορούσε πιθανές αυξήσεις τιμών σε κάτοικο της Chambers County, αφού έλαβε λογαριασμό 9.000 δολαρίων για ηλεκτρικό ρεύμα την εβδομάδα της καταιγίδας, έναντι ενός μέσου λογαριασμού 200 δολαρίων¹⁶.

Κυβερνητική απάντηση

Ο Κυβερνήτης Άμποτ εξέδωσε δήλωση καταστροφής στις 12 Φεβρουαρίου, με την οποία κινητοποίησε διάφορα τμήματα, συμπεριλαμβανομένου του Στρατιωτικού Τμήματος του Τέξας, για την απομάκρυνση του χιονιού και τη βοήθεια σε εγκλωβισμένους οδηγούς¹⁷. Όσο η κατάσταση χειροτέρευε, ο κυβερνήτης Άμποτ δήλωσε ομοσπονδιακή κήρυξη έκτακτης ανάγκης στις 13 Φεβρουαρίου, η οποία εγκρίθηκε από τον Πρόεδρο Μπάιντεν στις 14 Φεβρουαρίου.

¹⁴ Governor Abbott Issues Disaster Declaration, Continues To Deploy Resources As Severe Winter Weather Impacts Texas". gov.texas.gov. Retrieved May 28, 2021.

¹⁵ 2021 Winter Storm Uri After-Action Review: Findings Report (PDF) (Report). City of Austin & Travis County. November 4, 2021. Archived (PDF) from the original on November 5, 2021. Retrieved May 28, 2021.

¹⁶ DiFurio, Dom (February 23, 2021). "Texas electricity retailer Griddy hit with \$1 billion lawsuit for 'price gouging' after outages". Dallas News.

¹⁷ "Governor Abbott Gives Update On State Response To Severe Winter Weather, Power Outages". gov.texas.gov. Retrieved May 18, 2021.

Για να μειώσει τις ελλείψεις ενέργειας, ο κυβερνήτης Άμποτ διέταξε την διακοπή εξαγωγής φυσικού αερίου εκτός κράτους. Ζήτησε μάλιστα από τα ηγετικά μέλη του ERCOT να παραιτηθούν.

Ο πρώην δήμαρχος του Κολοράντο Σίτι, Τέξας, Τιμ Μπόιντ αντιμετώπισε έντονες αντιδράσεις αφού έκανε σχόλια επικρίνοντας τους πολίτες που δεν προετοιμάστηκαν για τη χειμερινή καταιγίδα και δήλωσε: «οι ισχυροί θα επιβιώσουν και οι αδύναμοι θα γαθούν». Μετά από αυτό δήλωσε παραίτηση.

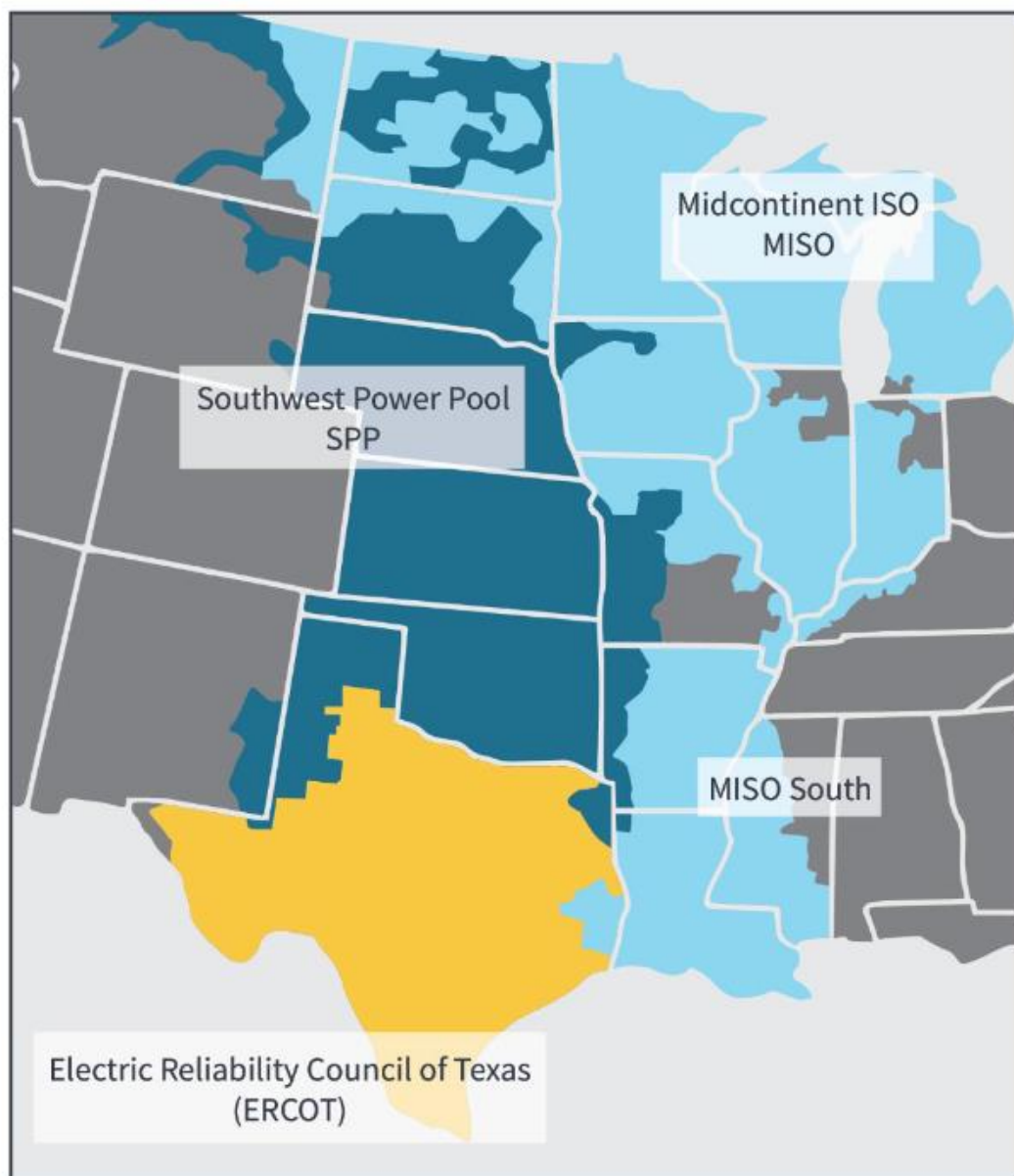
Ο γερουσιαστής Ted Cruz αντιμετώπιζε αποδοκιμασίες σχετικά με το ταξίδι του στο Μεξικό. Γραπτά μηνύματα από κινητή συσκευή της γυναίκας του αποκάλυψαν τη φύση του ταξιδιού του. Χαρακτηρίζεται σαν απόδραση από τις δυσμενείς συνθήκες. Έχει δεχθεί έντονη κριτική από πολιτικούς συμμάχους και αντιπάλους ότι εγκατέλειψε το κράτος κατά τη διάρκεια της κρίσης. Ο Κρουζ έγραψε στο Twitter σχετικά με την αύξηση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας στο Τέξας στις 22 Φεβρουαρίου, καλώντας «την πολιτεία και τις τοπικές ρυθμιστικές αρχές να δράσουν γρήγορα για να αποτρέψουν αυτή την αδικία». Αυτό επικρίθηκε ως υποκρισία επειδή ο Κρουζ ήταν ισχυρός υπέρμαχος της απορρύθμισης του ηλεκτρικού δικτύου του Τέξας, δηλαδή, ενός από τους κύριους λόγους που οδήγησαν σε αυτή τη μαζική διακοπή ρεύματος.

Συλλογική βοήθεια

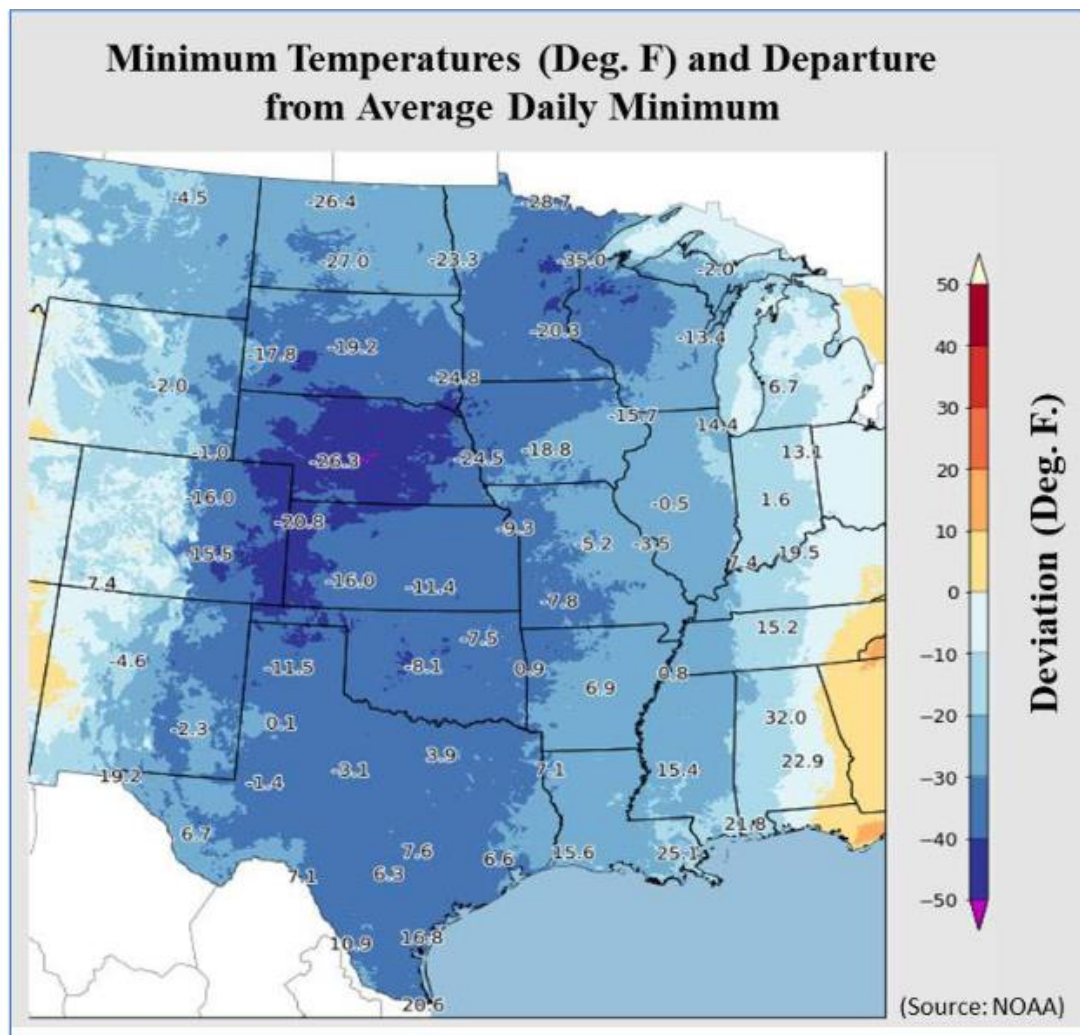
Τοπικές εκκλησίες, κοινοτικά κέντρα και άλλοι οργανισμοί δημιούργησαν σταθμούς θέρμανσης για τους πληγέντες, ενώ ζήτησαν επίσης συνεισφορές σε είδη πρώτης ανάγκης και χρηματικά ποσά. Αρκετές τοπικές ομάδες αλληλοβοήθειας ανταποκρίθηκαν παραδίδοντας και διανέμοντας προμήθειες, ιδιαίτερα στις πληγείσες περιοχές του Χιούστον και του Ώστιν. Ακόμη και η χρήση μέσων κοινωνικής δικτύωσης επιστρατεύτηκε για να αυξηθεί η ευαισθητοποίηση και η συλλογή δωρεών. Διάσημοι, όπως η Μπιγιονσέ και η Ρις Γουίδερσπουν, συνεργάστηκαν με εταιρείες για να παράσχουν χρηματική βοήθεια, δώρισαν προσωπικά είδη και παρείχαν συνδέσμους δωρεάς στους οπαδούς τους στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης,

Η Βουλευτής του Κογκρέσου, Alexandria Ocasio-Cortez, διοργάνωσε έρανο για την παροχή τροφής, νερού και στέγης στους πληγέντες του Τέξας, συγκεντρώνοντας 2 εκατομμύρια δολάρια την πρώτη του μέρα. Ταξίδεψε στο Χιούστον μαζί με άλλους εθελοντές, με σκοπό την παροχήβοήθειας. Μαζί με άλλους Γερουσιαστές του κόμματος των Δημοκρατικών περιηγήθηκε στις ζημιές που άφησε πίσω της η

καταιγίδα, καθώς και κέντρα διανομής και χώρους παράδοσης. Μέχρι το τέλος του ταξιδιού συγκεντρώθηκε το ποσό των 4,7 εκατομμυρίων δολαρίων.



Εικόνα 1: Όρια μεταξύ των διαφόρων διαχειριστών Συστημάτων Ηλεκτρικής ενέργειας στην ευρύτερη περιοχή



Εικόνα 2: Δριμείες καιρικές συνθήκες ψύχους - 15 Φλεβάρη του 2021

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ

Στις 16 Φεβρουαρίου 2021, ενώ το Συμβάν συνέβαινε ακόμη, FERC και NERC ανακοίνωσαν από κοινού έρευνα προσωπικού τους, «για τις λειτουργίες του BES κατά τη διάρκεια των ακραίων καιρικών συνθηκών που αντιμετώπιζαν Κεντροδυτικά και Νοτιοκεντρικά».¹⁸

Το προσωπικό των FERC και NERC και έξι περιφερειακοί οργανισμοί σχημάτισαν γρήγορα μια ομάδα (από εδώ και στο εξής: η ομάδα) με πάνω από 50 εμπειρογνώμονες προσδιορίζοντας το εύρος της έρευνας που περιελάμβανε: αξιολόγηση του τι συνέβη κατά τη διάρκεια του Συμβάντος, εντοπισμός κοινών σημείων σε αντίστοιχα γεγονότα με παγετό και τυχόν ενέργειες που θα πρέπει να γίνουν από το NERC, αξιολόγηση των Προτύπων Αξιοπιστίας για δυσμενείς καιρικές συνθήκες και διατύπωση συστάσεων για την αποφυγή παρόμοιων Συμβάντων στο μέλλον. Αυτοσκοπός δεν θα ήταν η χειραγώγηση της αγοράς ή ο εκ νέου σχεδιασμός της, μιας και αυτά είχαν αντιμετωπιστεί από τις αρμόδιες επιτροπές. Επικεντρωνόταν αποκλειστικά στην αξιοπιστία του BES.

Η ομάδα είχε χωρστεί σε 3 υποομάδες: Παραγωγή, Αέριο και Λειτουργίες και Σχεδιασμός Δικτύων. Η εκάστοτε ομάδα ζήτησε δεδομένα από άμεσα επηρεαζόμενους φορείς. Κάποιοι από αυτούς είναι ιδιοκτήτες παραγωγής, οι αρχές εξισορρόπησης, οι συντονιστές αξιοπιστίας, οι διαχειριστές μεταφοράς και οι διαχειριστές υποδομής φυσικού αερίου. Συνολικά, εκδόθηκαν περίπου 400 αιτήματα παραχώρησης δεδομένων. Ακόμη πραγματοποιήθηκαν συναντήσεις με ERCOT, MISO και SPP, καθώς και με αντιπροσωπευτικούς προμηθευτές φυσικού αερίου.

Η ομάδα ανέλυσε τα δεδομένα για διάφορους σκοπούς, όπως δημιουργία μιας περιγραφής του Συμβάντος βάσει στοιχείων, προσδιορισμό των αιτιών, συμπεριλαμβανομένων των υψηλότερων τιμών φορτίων που απορρίφθηκαν σε ERCOT, και προετοιμασία προκαταρκτικών ευρημάτων και συστάσεων. Τα προσχέδια της έκθεσης που ελέγχονται από την ομάδα συντάσσονται σε συνεργασία με ERCOT, MISO και SPP, καθώς και πολυάριθμους διαχειριστές της ομάδας FERC, NERC και

¹⁸ Press Release, FERC, NERC to Open Joint Inquiry into 2021 Cold Weather Grid Operations | Federal Energy Regulatory Commission (Feb. 16, 2021)

της περιφερειακής οντότητας. Ακόμη εξετάστηκαν και άλλες αναφορές για το Συμβάν και θα αναφερθούν παρακάτω.

Επισκόπηση Συστήματος

1. Ρόλοι αξιοπιστίας

Το NERC κατηγοριοποίησε τις φορείς που είναι υπεύθυνες για τον σχεδιασμό και τη λειτουργία του BES με αξιόπιστο τρόπο σε πολλαπλούς τύπους λειτουργικών φορέων. Σύμφωνα με το NERC, εκείνες που σχετίζονται περισσότερο με το Συμβάν είναι: Συντονιστές Αξιοπιστίας, Αρχές Εξισορρόπησης, Ιδιοκτήτες Γεννητριών, Διαχειριστές Γεννητριών, Ιδιοκτήτες Μεταφοράς, Διαχειριστές Μεταφοράς, Συντονιστές Σχεδιασμού, και Σχεδιαστές Μεταφοράς. Αρκετές από αυτές, ιδιαίτερα οι ERCOT, MISO και SPP, έπαιξαν κομβικό ρόλο για την αξιοπιστία καθ' όλη τη διάρκεια του Συμβάντος.

2. Εμπλεκόμενοι φορείς ηλεκτρικού δικτύου

ERCOT. Το ERCOT είναι ένας Ανεξάρτητος Διαχειριστής Συστήματος που καλύπτει το 75% της επικράτειας του Τέξας, εξαιρουμένης της περιοχής του Ελ Πάσο. Το ERCOT διαχειρίζεται το 90 % του φορτίου στο Τέξας, και διαχειρίζεται τις αγορές ενέργειας και βοηθητικών υπηρεσιών του Τέξας. Το ERCOT έχει υπό την επίβλεψή του πάνω από 74,8 χιλιόμετρα γραμμών μεταφοράς και περίπου 700 μονάδες παραγωγής.¹⁹ Η παραγωγή του ERCOT απαρτίζεται από 52% φυσικό αέριο, 25% αιολική ενέργεια, 12% άνθρακα, 4% πυρηνική ενέργεια, 5% ηλιακή ενέργεια, και 1% αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας κ.α.. Το ERCOT είναι μια περιφέρεια που παρουσιάζει αιχμή ζήτησης το καλοκαίρι, με την υψηλότερη ως σήμερα να λαμβάνει χώρα στις 12 Αυγούστου 2019, όταν το φορτίο ανήλθε στα 74,820 MW.²⁰

Στην αγορά του ERCOT, οι QSE (Qualified Scheduling Entities : Πιστοποιημένοι Φορείς Προγραμματισμού ΠΦΠ) υποβάλλουν προσφορές για λογαριασμό μονάδων παραγωγής ή φορέων εξυπηρέτησης φορτίου. Οι QSE υποβάλλουν προσφορές για πώληση ή/και προσφορές για αγορά ενέργειας στην αγορά της επόμενης ημέρας και

¹⁹ <http://www.ercot.com/>

²⁰ Ενημερωτικό φύλλο ERCOT, Φεβρουάριος 2021, http://www.ercot.com/content/wcm/lists/219736/ERCOT_Fact_Sheet_2.12.21.pdf

στην αγορά σε πραγματικό χρόνο. Οι φορείς αυτοί είναι υπεύθυνοι για την υποβολή Λειτουργικού Σχεδίου για το σύνολο των μονάδων παραγωγής που εκπροσωπεί.²¹ Όλες οι επικοινωνίες κατά τη διάρκεια επειγουσών λειτουργιών γίνεται μεταξύ του ERCOT και των QS's. Οι τελευταίοι μάλιστα είναι υπεύθυνοι για τον συντονισμό όλων των μεμονωμένων μονάδων παραγωγής ή άλλων φορεων που εκπροσωπούνται.

MISO και SPP. Ο MISO είναι και αυτός ένας Ανεξάρτητος Διαχειριστής Συστήματος που επιβλέπει το ηλεκτρικό δίκτυο σε 15 πολιτείες. Ο MISO ελέγχει 105,89 Χιλιόμετρα γραμμών μεταφοράς και παρουσίασε το υψηλότερο φορτίο αιχμής μέχρι σήμερα, 130,917 MW, στις 20 Ιουλίου 2011.²² Η παραγωγική ικανότητα του MISO είναι 198,933 MW, που αποτελείται από 42 % παραγωγή φυσικού αερίου, 29 % άνθρακα, 19 % ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και 8 % πυρηνική παραγωγή. Ο MISO επιβλέπει την μεγαλύτερη αγορά ενέργειας και λειτουργικών αποθεματικών. Οι ενδεικτικές ετήσιες ακαθάριστες συναλλαγές του αγγίζουν τα 22 δισεκατομμυρία δολαρία. MISO και SPP βρίσκονται στην Ανατολική Διασύνδεση και μοιράζονται κοινά σύνορα.

Η SPP είναι ένας Περιφερειακός Οργανισμός Μεταφοράς (RTO), που διαχειρίζεται μια περιοχή 889,78 τετραγωνικών χιλιομέτρων που περιλαμβάνει όλες ή τμήματα 14 πολιτειών: Αρκάνσας, Αϊόβα, Κάνσας, Λουιζιάνα, Μινεσότα, Μιζούρι, Μοντάνα, Νεμπράσκα, Νέο Μεξικό, Βόρεια Ντακότα, Οκλαχόμα, Νότια Ντακότα, Τέξας και Ουαϊόμινγκ.²³ Η SPP διαχειρίζεται 112,69 χιλιομέτρων γραμμών μεταφοράς και εμφάνισε το υψηλότερο φορτίο αιχμής περίπου 51,037 MW στις 28 Ιουλίου 2021. Ο στόλος παραγωγής της SPP αποτελείται από 38,5% (εγκατεστημένη ισχύς) φυσικό αέριο, 29% αιολική και 24,3% άνθρακα. Όμως, ο άνθρακας αφορά την πλειονότητα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας το 38,6% της συνολικής ενέργειας, ενώ η αιολική ενέργεια και το φυσικό αέριο αντιπροσώπευαν περίπου το 29,5% και το 22,7%. Η ολοκληρωμένη αγορά της SPP περιλαμβάνει μια αγορά μιας ημέρας, μια διαδικασία δέσμευσης μονάδων αξιοπιστίας, μια αγορά εξισορρόπησης σε πραγματικό χρόνο και την ενσωμάτωση προμήθειας λειτουργικού αποθεματικού βάσει τιμών.

²¹ ERCOT, Πιστοποιημένοι Φορείς Προγραμματισμού, <http://www.ercot.com/services/rq/qs>

²² Εταιρικό ενημερωτικό δελτίο MISO, <https://www.misoenergy.org/about/media-center/corporate-fact-sheet/>

²³ Ενημερωτικό δελτίο SPP <https://www.spp.org/about-us/fast-facts/>

Ο παρακάτω πίνακας απεικονίζει την εγκατεστημένη χωρητικότητα 49 πόρων παραγωγής ανά τύπο καυσίμου τη στιγμή του Συμβάντος. Και από τους τρεις διαχειριστές στην ενεργό περιοχή, η παραγωγή φυσικού αερίου αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μερίδιο των συνόλων παραγωγής.

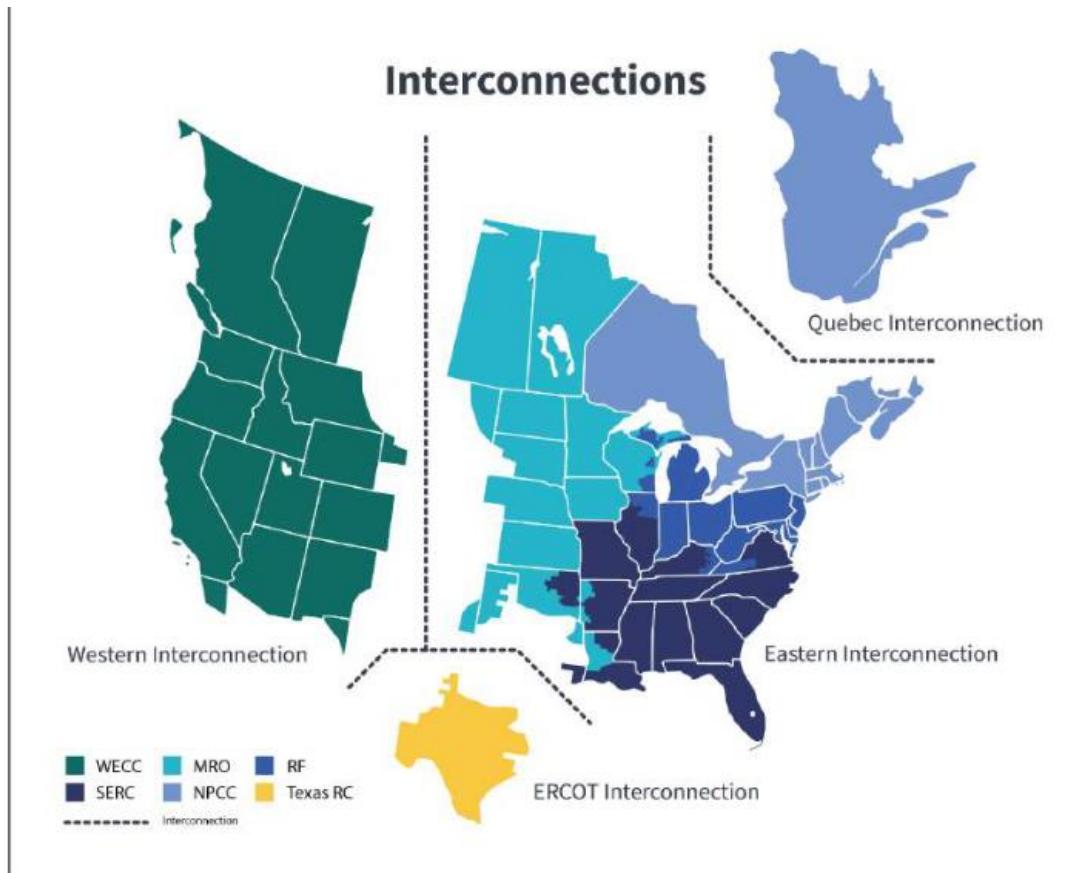
Πίνακας 1: Εγκατεστημένη ισχύς (MW) ανά τύπο καυσίμου

Fuel Type	ERCOT		SPP		MISO South	
	MW	Percent	MW	Percent	MW	Percent
Coal	14,703	11.9%	22,899	24.3%	7,221	17.2%
Natural Gas	64,202	52.2%	36,310	38.5%	25,364	60.6%
Nuclear	5,268	4.3%	2,061	2.2%	5,346	12.8%
Other	1,268	1.0%	5,115	5.4%	3,791	9.1%
Solar	6,202	5.0%	235	0.2%	143	0.3%
Wind	31,414	25.5%	27,612	29.3%	---	---
TOTAL MW	123,057		94,232		41,865	

Διασυνδέσεις επηρεαζόμενων φορέων και με άλλα μέρη του ηλεκτρικού δικτύου

Το ERCOT λειτουργεί ως ανεξάρτητη διεπαφή (όπως φαίνεται παρακάτω), παρόλο έχει τέσσερις συνδέσεις με άλλες διεπαφές. Υπάρχουν δύο γραμμές μετάδοσης συνεχούς ρεύματος (DC) μεταξύ ERCOT και της ανατολικής διασύνδεσης μέσω SPP: The North Tie, και the East Tie.²⁴

²⁴ ERCOT DC Tie Operations Document, Έκδοση 3, 31 Ιουλίου 2020, Ενότητα 1.3.



Εικόνα 3: Χάρτης Ηλεκτρικών Διασυνδέσεων

Επιπλέον, υπάρχουν δύο διασυνδέσεις μεταξύ του ERCOT και του Μεξικό (Διαχειριστής Δικτύου CENACE).⁵² Η μέγιστη ποσότητα ενέργειας που μπορεί να εισαχθεί ταυτόχρονα σε όλες τις συνδέσεις στο ERCOT είναι 1.220 MW, με 820 MW από αυτήν μέσω των Βόρειων και Ανατολικών.⁵³ Η SPP συνδέεται προς τα δυτικά και νότια με συνδέσμους DC που διαχωρίζουν την Ανατολική Διασύνδεση από τη Δυτική Διασύνδεση (επτά γραμμές σύνδεσης DC) και του ERCOT (δύο γραμμές σύνδεσης DC).

Η SPP καταλήγει στο δυτικό άκρο της Ανατολικής Διασύνδεσης. Η χωρητικότητα της γραμμής SPP είναι κυρίως με MISO, η οποία είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τη χωρητικότητα σύνδεσης DC μεταξύ ERCOT και SPP. Η SPP διαθέτει ένα ισχυρό δίκτυο γραμμών μετάδοσης εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) με MISO. Η παρακάτω εικόνα δείχνει την έκταση των γραμμών σύνδεσης, ανά επίπεδο τάσης, μεταξύ MISO και SPP.

Πίνακας 2: Γραμμές σύνδεσης μετάδοσης μεταξύ MISO και SPP διαχειριστών

Voltage Level (kV)	Number of Tie-lines between MISO and SPP
69	85
115	30
138	5
161	41
230	13
345	16
500	3
Total	193

Η συνδεσιμότητα της γραμμής της SPP και του MISO είναι τέτοια ώστε, εάν μεγάλες ποσότητες ισχύος (π.χ. αρκετές χιλιάδες MW) πρέπει να εισαχθούν ή να εξαχθούν, η ροή μεταφοράς ισχύος γίνεται κυρίως μέσω του συστήματος μεταφοράς του MISO και η πραγματική δυνατότητα μεταφοράς εξαρτάται από τις συνθήκες του συστήματος. Παρόμοια με την ύπαρξη πολλών γραμμών σύνδεσης με SPP, MISO διαθέτει 263 συνδέσεις γραμμών μετάδοσης AC σε άλλες πολιτείες που βρίσκονται εντός της Eastern Interconnection.

Ο MISO και η SPP αποτελούν μέρος κοινής επιχειρησιακής συμφωνίας για την αντιμετώπιση προβλημάτων ροής ισχύος και τη βελτίωση των λειτουργιών τους. Ο MISO απαρτίζεται από δύο περιοχές, που τις συνδέει μια ενιαία σταθερή διαδρομή μετάδοσης: MISO Midwest, North και MISO South. Όπως φαίνεται παρακάτω, ο MISO περιορίζει την ποσότητα ισχύος που μεταφέρει εντός της αγοράς, που αναφέρεται ως όριο περιφερειακής κατευθυντικής μεταφοράς (RDTL), βάσει συμφωνίας με την SPP, σε 3.000 MW από βορρά σε νότια (1.000 MW σταθερή και 2.000 MW μεταβαλλόμενη) και 2.500 MW από νότο προς βορρά (1.000 MW σταθερή και 1.500 MW μεταβαλλόμενη).



Εικόνα 4: Διασυνδέσεις MISO

Ιστορικό προετοιμασίας για τις ακραίες χειμερινές θερμοκρασίες

Ετοιμότητα Εγκαταστάσεων Παραγωγής και Φυσικού Αερίου

Στις βόρειες περιοχές των Η.Π.Α., οι περισσότερες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας σχεδιάζονται και κατασκευάζονται με λέβητες, τουρμπίνες/γεννήτριες και συγκεκριμένο βοηθητικό εξοπλισμό που στεγάζονται σε κλειστά κτίρια. Κατά τους ψυχρότερους μήνες, η θερμότητα από λέβητες και πρόσθετες θερμάστρες μπορεί να διατηρηθεί αρκετά για να αποφευχθεί το πάγωμα. Οι κλειστοί χώροι σχεδιάζονται και κατασκευάζονται με εισόδους αέρα και εξαερισμούς που τοποθετούνται στην οροφή για ψύξη κατά τη διάρκεια της ζέστης.

Στις νότιες Η.Π.Α., πολλές εγκαταστάσεις παραγωγής και κατασκευάζονται δίχως να διαθέτουν κλειστές κτιριακές δομές. Με αυτόν τον τρόπο μένουν εκτεθειμένοι οι λέβητες, οι στροβίλοι/γεννήτριες και άλλα βοηθητικά συστήματα, με σκοπό την αποφυγή υπερβολικής συσσώρευσης θερμότητας. Τους ψυχρότερους μήνες, όταν σημειώνονται ακραία χαμηλές θερμοκρασίες, οι εγκαταστάσεις κινδυνεύουν από παγετό.

Ακόμη κινδυνεύουν επίσης οι ανεμογεννήτριες, οι ηλιακοί πόροι και οι υποδομές φυσικού αερίου. Στις εγκαταστάσεις παραγωγής φυσικού αερίου, πρέπει να ληφθούν μέτρα για την αποφυγή παγώματος των φρεατίων. Οι γεωτρήσεις φυσικού αερίου παράγουν ρευστά που περιέχουν νερό εκτός από το φυσικό αέριο, τα οποία πρέπει να μεταφέρονται μέσω γραμμών ροής (σωλήνες) σε κάθε εγκατάσταση γεωτρήσεων για αποθήκευση και επεξεργασία. Όταν οι θερμοκρασίες πέφτουν κάτω από το μηδέν, ο εξοπλισμός χειρισμού υγρών μπορεί να αντιμετωπίσει προβλήματα ψύξης και ενδεχομένως να σταματήσει.

Ανεξάρτητα από την τοποθεσία τους στις Η.Π.Α., οι ιδιοκτήτες και διαχειριστές μονάδων παραγωγής και υποδομών φυσικού αερίου συνήθως εφαρμόζουν ειδικά σχέδια αντιψυκτικής προστασίας για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων τους κατά τη διάρκεια ακραία χαμηλών θερμοκρασιών. Για εκτεθειμένες μονάδες στις νότιες Η.Π.Α. και ορισμένες υποδομές φυσικού αερίου, η χειμερινή περίοδος μπορεί να περιλαμβάνει συνδυασμό μόνιμων θερμαινόμενων περιβλημάτων για την προστασία του εξοπλισμού από το κρύο, την ανίχνευση θερμότητας, τη μόνωση, τις διακοπές ανέμου, τον προσωρινό ή μόνιμα εγκατεστημένο εξοπλισμό θέρμανσης και άλλα μέτρα προστασίας από τις καιρικές συνθήκες.

Η κατάλληλη εκπαίδευση των χειριστών εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας σχετικά με το σχέδιο χειμερινής λειτουργίας της εγκατάστασης είναι ζωτικής σημασίας για να διασφαλιστεί ότι θα είναι έτοιμοι να λάβουν τα απαραίτητα μέτρα πριν και κατά τη διάρκεια ακραίων καιρικών φαινομένων.

Κατέρρευσε το δίκτυο

Το Τέξας δεν είναι συνδεδεμένο με κανένα από τα δύο διαπολιτειακά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας των Η.Π.Α., διότι αυτό θα προϋπέθετε την τήρηση ορισμένων ομοσπονδιακών κανονισμών. Έτσι, όταν από τις 15 Φεβρουαρίου έπεσε η θερμοκρασία (ως -18°C) που οι πηγές πετρελαίου και αερίου και τα δίκτυα διανομής τους πάγωσαν, η ζήτηση για ρεύμα αυξήθηκε δραματικά και το 90% του δικτύου κατέρρευσε. Το Τέξας δεν μπορούσε να εισάγει ρεύμα από άλλες Πολιτείες.

«Η κρίση οφείλεται και σε ένα άλλο καθοριστικό τεξανό χαρακτηριστικό: την ανεξαρτησία, τόσο από το κράτος όσο και από την υπόλοιπη χώρα. Η κυριαρχία της ενεργειακής βιομηχανίας και η νοοτροπία της “Δημοκρατίας του Τέξας” αποδείχθηκαν καταστροφικά μειονεκτήματα όταν η ενέργεια σταμάτησε να ρέει στα σπίτια εκατομμυρίων Τεξανών» έγραψαν οι «New York Times», παρατηρώντας ότι στην Πολιτεία «η ρύθμιση της αγοράς ενέργειας είναι τόσο θέμα φιλοσοφίας όσο και πολιτικής», ενώ το ανεξάρτητο δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος αποτελεί πηγή υπερηφάνειας από τις αρχές του 20ού αιώνα που αποφασίστηκε.

Προσφορά και ζήτηση

Ο Ρεπουμπλικανός πρώην κυβερνήτης του Τέξας (2000-2015) και υπουργός Ενέργειας (2017-2019) του Ντόναλντ Τραμπ, Ρικ Πέρι, έχει δηλώσει ότι «οι Τεξανοί είναι πρόθυμοι να υποστούν εκτεταμένα μπλακάουτ προς χάριν του υπέρτατου σκοπού να κρατήσουν τους ομοσπονδιακούς νόμους έξω από το δίκτυό τους»²⁵.

Όσοι Τεξανοί θεώρησαν τους εαυτούς τους τυχερούς επειδή δεν τους κόπηκε το ρεύμα μέσα στον χιονιά, αλλά είχαν επιλέξει τη δημοφιλή κυμαινόμενη τιμολόγηση (πελάτες

²⁵ Russell Gold (January 18, 2022). "The Texas Electric Grid Failure Was a Warm-up". Texas Monthly. Retrieved May 19, 2022

Griddy), είχαν μια πολύ δυσάρεστη έκπληξη: οι τιμές της κιλοβατώρας αυξήθηκαν κατά 9.000% και ο λογαριασμός λίγων ημερών έφθασε τις χιλιάδες δολάρια αφού το μεγαλύτερο μέρος του δικτύου είχε καταρρεύσει και η ζήτηση για ρεύμα ξεπέρασε κατά πολύ την προσφορά.



Η περίπτωση της Griddy

Ενδεικτική είναι η περίπτωση της Griddy, μικρής εταιρείας στο Χιούστον που παρέχει ρεύμα σε κυμαινόμενες τιμές χονδρικής. Η εταιρεία περνάει ευθέως την τιμή χονδρικής στους καταναλωτές, χρεώνοντάς τους 9,99 δολάρια τον μήνα, τα οποία αποτελούν το δικό της έσοδο.

Τους λογαριασμούς ρεύματος τους συνδέει υποχρεωτικά με την πιστωτική κάρτα ή τον τραπεζικό λογαριασμό των καταναλωτών, γι' αυτό μετά την κακοκαιρία πολλοί είδαν τις οικονομίες τους να εξανεμίζονται για να εξοφληθεί η Griddy²⁶.

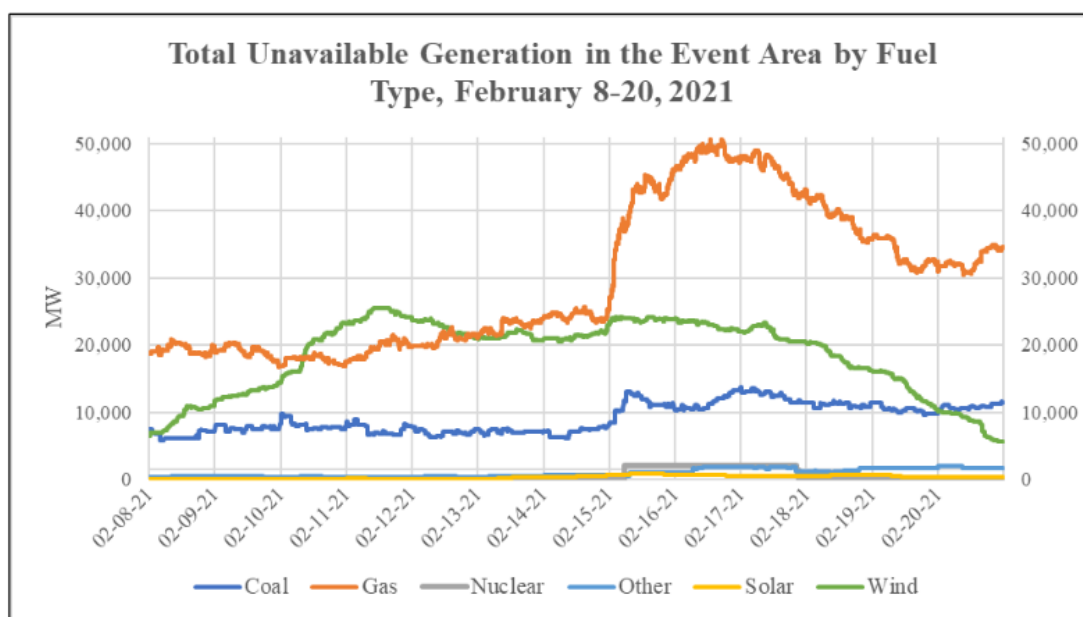
²⁶ Botkin, Shelly. "Second Order Directing ERCOT to Take Action and Granting Exception to Commission Rules" . Public Utility Commission of Texas.

Το αποκορύφωμα είναι ότι σύμφωνα με έρευνα της «Wall Street Journal», που δημοσιεύτηκε την Πέμπτη, την τελευταία εικοσαετία οι καταναλωτές στο Τέξας έχουν πληρώσει πιο ακριβά το ηλεκτρικό ρεύμα από τις ιδιωτικές εταιρείες απ' όσο θα είχαν πληρώσει με τις τιμές των κρατικών εταιρειών – για την ακρίβεια 28 δισ. δολάρια ακριβότερα.

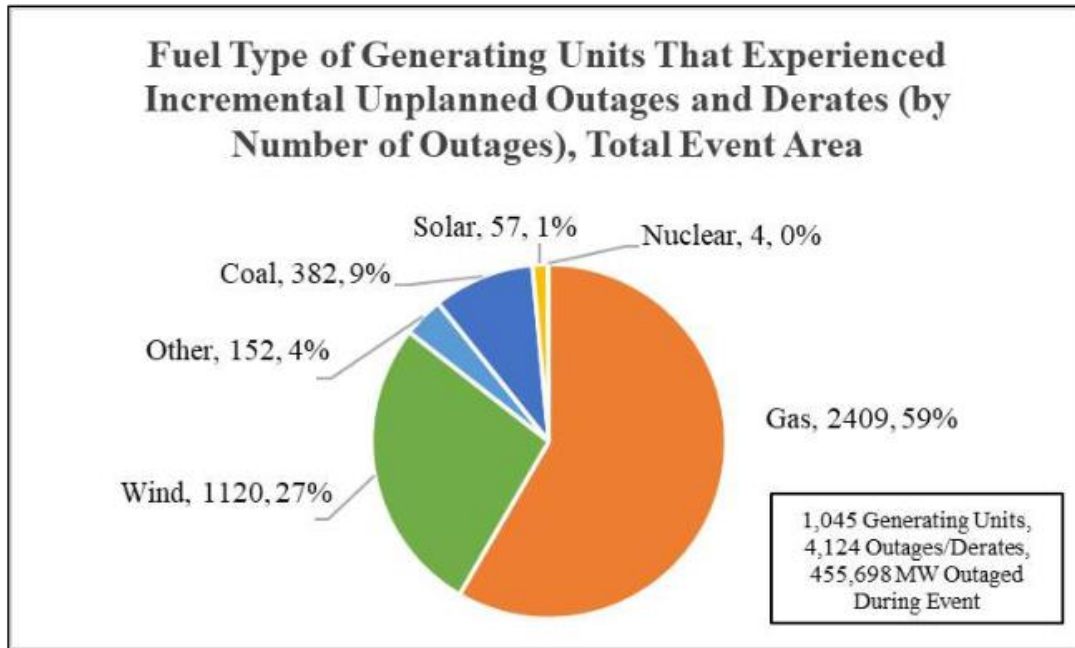


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΒΑΣΙΚΑ ΕΥΡΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΙΤΙΕΣ

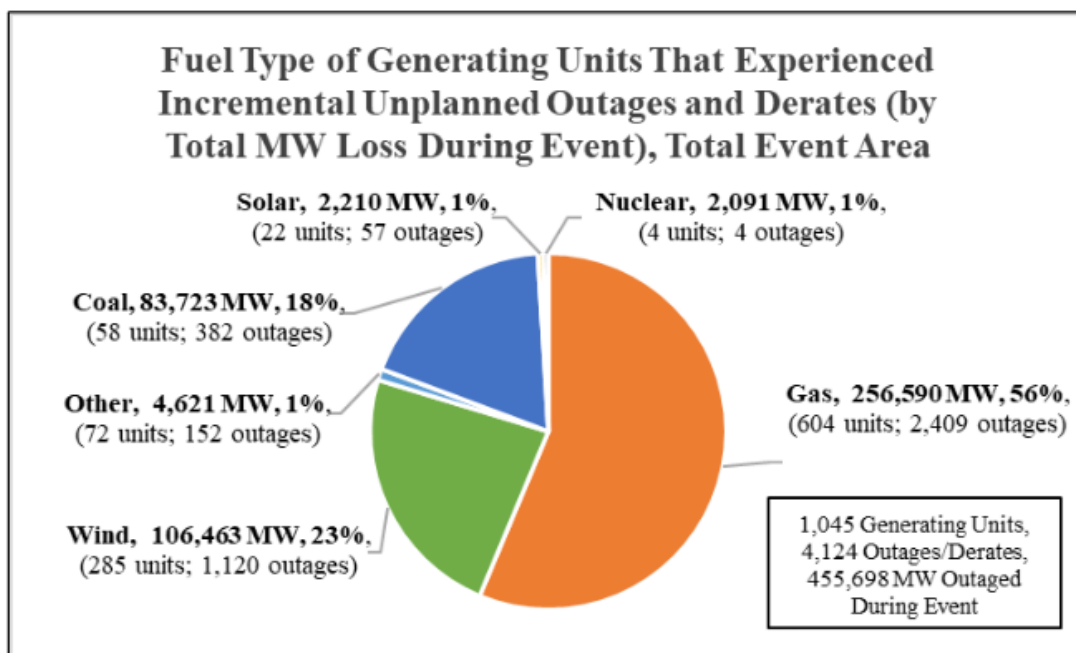
Όλα ξεκίνησαν με τις ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες και παγωμένη βροχόπτωση. Οι εκτεθειμένες εγκαταστάσεις και η υποδομές παραγωγής φυσικού αερίου είναι ευάλωτες σε τόσο χαμηλές θερμοκρασίες. Επιπρόσθετα, οι ανεμογεννήτριες παρουσιάζουν ευαισθησία με πιθανότητα παγώματος των πτερυγίων τους. Δεν είναι δυνατή η εκτίμηση του βαθμού στον οποίο το Συμβάν προκλήθηκε από την αποτυχία όλων των παραγωγικών μονάδων να προετοιμαστούν για ακραία καιρικά φαινόμενα. Παρακάτω, απεικονίζει τις διακοπές της μονάδας παραγωγής ανά τύπο καυσίμου με την πάροδο του χρόνου κατά τη διάρκεια του Συμβάντος. Οι διακοπές λειτουργίας των μονάδων παραγωγής αιολικής ενέργειας σημειώθηκαν από νωρίς, ξεκινώντας από τις 10 Φεβρουαρίου, και έφτασαν σε ένα επίπεδο 20 έως 25 GW που διατηρήθηκε μέχρι τις 18 Φεβρουαρίου.



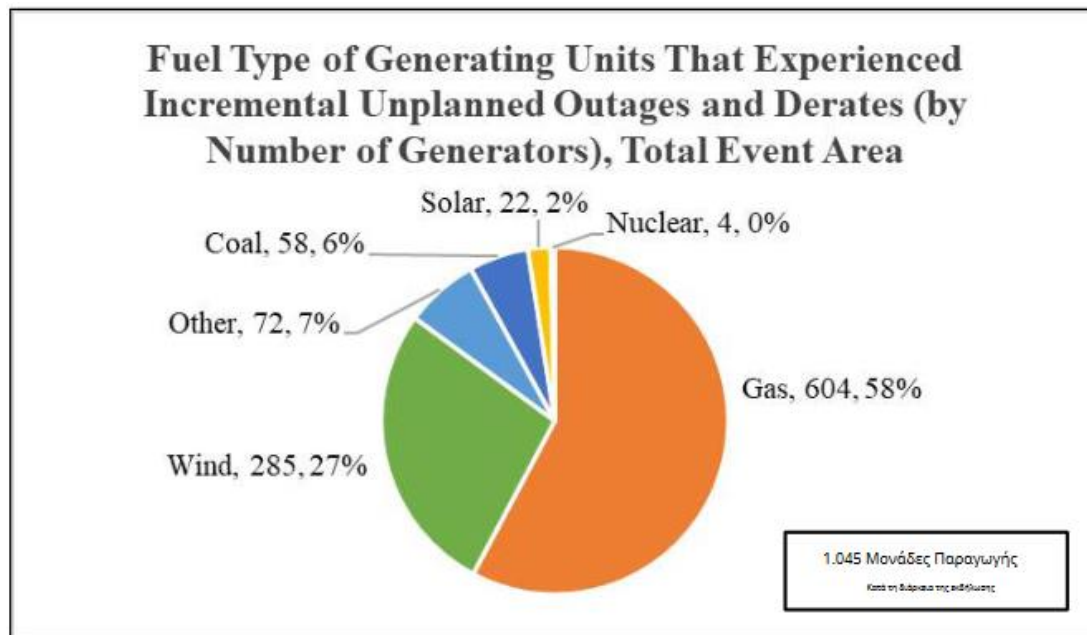
Εικόνα 5: Διακοπές παραγωγής, μειώσεις και αστοχίες εκκίνησης (MW) ανά τύπο καυσίμου, 8-20 Φεβρουαρίου, Συνολική περιοχή Συμβάντων



Εικόνα 6: Αριθμός σταδιακών μη προγραμματισμένων διακοπών παραγωγής, μειώσεων και αποτυχιών εκκίνησης κατά τύπο καυσίμου, 8-20 Φεβρουαρίου.



Εικόνα 7: Διακοπές παραγωγής, μειώσεις και αποτυχίες εκκίνησης (MW) ανά τύπο καυσίμου, 8-20 Φεβρουαρίου.

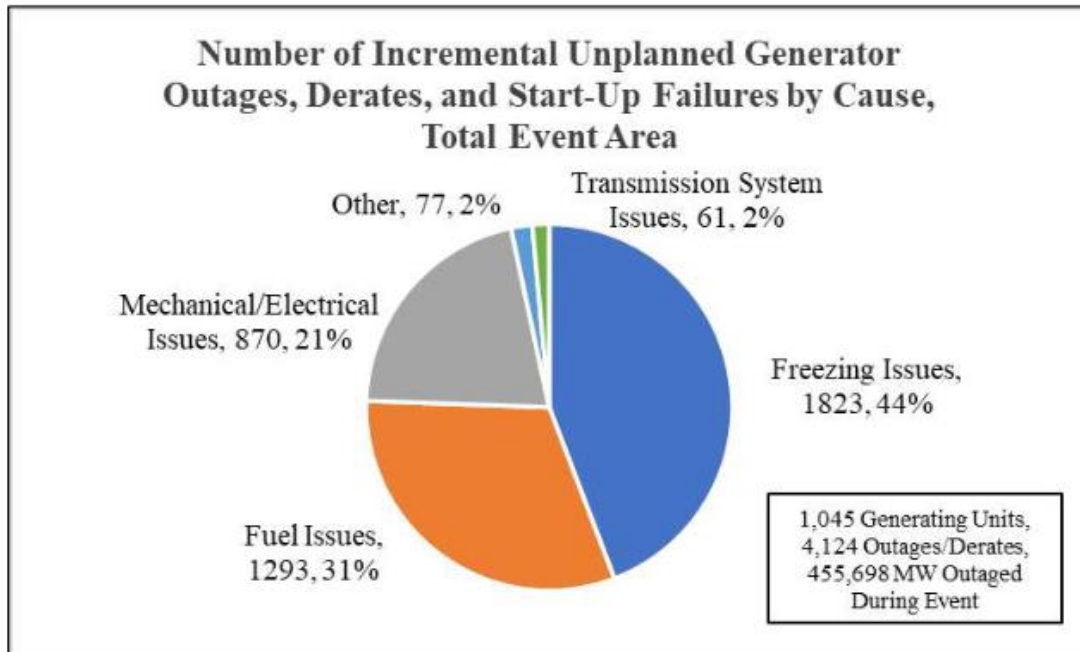


Εικόνα 8: Αριθμός μονάδων παραγωγής που αντιμετώπισαν διακοπή ή μείωση ανά τύπο καυσίμου.

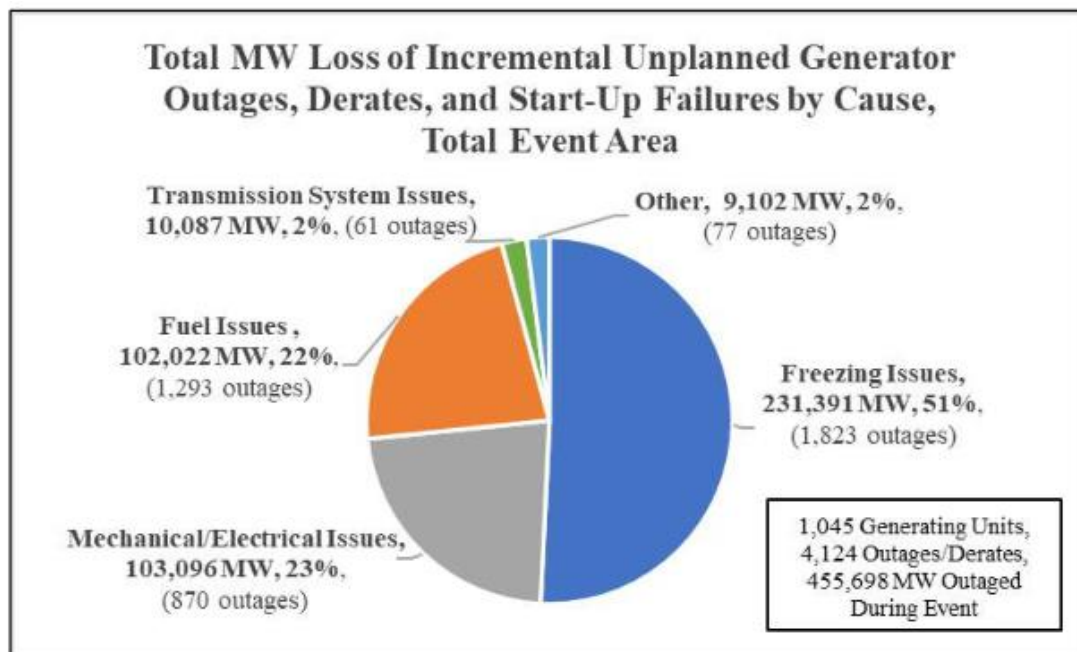
Ο αριθμός των διακοπών, αποδείχθηκε ότι ήταν ο πιο ακριβής τρόπος για τον διαχωρισμό των αιτιών, ανά τύπο καυσίμου των μονάδων παραγωγής. Δεν μπορούν να προσδιοριστούν τα ακριβή αίτια διακοπής στο βάθος των δυο εβδομάδων. Για παράδειγμα, οι διακοπές ρεύματος που σχετίζονται με τον παγετό μπορεί να προηγούνται ή να ακολουθούνται από μειώσεις που προκαλούνται από προβλήματα παροχής αερίου. Οι παρακάτω εικόνες αντικατοπτρίζουν, για τη συνολική Περιοχή του Συμβάντος και τη συνολική διάρκεια του Συμβάντος από τις 8 έως τις 20 Φεβρουαρίου, το σύνολο των μεμονωμένων μονάδων παραγωγής που τέθηκαν σε λειτουργία και όλα τα MW που σχετίζονται με κάθε διακοπή ή μείωση της μονάδας παραγωγής.

Η κύρια αιτία των διακοπών των μονάδων παραγωγής ήταν το πάγωμα εξαρτημάτων και συστημάτων που προκλήθηκαν από τις χαμηλές θερμοκρασίες και τις βροχοπτώσεις. Ζητήματα παγώματος και καυσίμων προκάλεσαν το 75 % όλων των απρογραμμάτιστων διακοπών της μονάδας ηλεκτροπαραγωγής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 16 παρακάτω. Τα θέματα καυσίμων περιλάμβαναν 87 % θέματα προμήθειας καυσίμου φυσικού αερίου (μειωμένη παραγωγή και μεταφορά φυσικού αερίου, χαμηλή πίεση αγωγών και άλλα θέματα) και 13 % άλλα προβλήματα καυσίμων. Τα προβλήματα προμήθειας καυσίμου είναι υπεύθυνα για το 27,3 % όλων των διακοπών των μονάδων παραγωγής. Τα μηχανικά/ηλεκτρικά προβλήματα, που ευθύνονται για επιπλέον 21 % των διακοπών αυξάνονταν καθώς οι θερμοκρασίες έπεφταν και

μειώνονταν καθώς αυτές ανέβαιναν. Ωστόσο σε αντίθεση με τα προβλήματα παγώματος, η μέθοδος με την οποία το κρύο επηρέασε τη μονάδα παραγωγής ήταν λιγότερο εμφανής.



Εικόνα 9: Αύξηση απρογραμματίστων διακοπών κατά Αιτία, 8-20 Φεβρουαρίου, Συνολική περιοχή Συμβάντων



Εικόνα 10: Συνολική Απώλεια MW κατά Αιτία, 8-20 Φεβρουαρίου, Συνολική περιοχή Συμβάντων

Παρά τις πολλαπλές συστάσεις από το 2011 ότι οι μονάδες παραγωγής θα πρέπει να λάβουν μέτρα προετοιμασίας για το χειμώνα (συμπεριλαμβανομένων λεπτομερών συστάσεων για σχέδια χειμερινής χρήσης),²⁷ 49 μονάδες παραγωγής στην SPP (15 %), 26 στο ERCOT (7 %) και 3 μονάδες στον MISO (4 %), δεν εφάρμοσαν σχέδια προετοιμασίας για τον χειμώνα. Για το 81 % των διακοπών της μονάδας παραγωγής, μειώνεται η αποτυχία εκκίνησης, σε θερμοκρασίες πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος σχεδιασμού της μονάδας.

Οι ακραίες καιρικές συνθήκες διήρκησαν δύο εβδομάδες, με τις διακοπές φορτίου και μονάδας παραγωγής να αυξάνονται από τη μια εβδομάδα στην άλλη. Την εβδομάδα της 14ης Φεβρουαρίου, ιδιαίτερα τις πρώτες πρωινές ώρες της 15ης Φεβρουαρίου, οι διακοπές των μονάδων παραγωγής και το αυξανόμενο φορτίο διασταυρώθηκαν στο σημείο όπου οι χειριστές ERCOT δεν είχαν πλέον επαρκή αποθέματα ενέργειας και δεν μπορούσαν να εξισορροπήσουν τη ζήτηση και τη διαθέσιμη παραγωγή. Στο χειρότερο σημείο, το ERCOT είχε κατά μέσο όρο 34.000 MW διακοπές και μειώσεις με βάση την «αναμενόμενη» ισχύ (σχεδόν το ήμισυ του πραγματικού φορτίου αιχμής όλων των εποχών του ERCOT). Οι διακοπές αυτές διήρκησαν περίπου δύο ημέρες. Το μεγαλύτερο ποσοστό αφορούσε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με αέριο. Ως άμεσο αποτέλεσμα, το ERCOT αναγκάστηκε να απορρίψει σταθερό φορτίο 20.000 MW, υπερογκα μεγαλύτερο από το αυτό που σημειώθηκε κατά τη διάρκεια της εκδήλωσης αντίστοιχου συμβάντος 2011. Αυτό διήρκησε περίπου τρεις ημέρες. Το μέγεθος και η διάρκεια του παραπάνω φαινομένου έκαναν δύσκολη επέμβαση των χειριστών και απαίτησαν την χειροκίνητη απόρριψη φορτίου χρησιμοποιώντας αυτόματο κύκλωμα για την απορρόφηση του φορτίου.

Ο MISO και η SPP αντιμετώπισαν επίσης απρογραμμάτιστες διακοπές μονάδων παραγωγής που είχαν ως αποτέλεσμα την απόρριψη σταθερού φορτίου για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης ενέργειας ή/και μετάδοσης. Ωστόσο, οι ισχυροί δεσμοί τους με το ανατολικό δίκτυο διασύνδεσης τους επιτρέπουν να εισάγουν ενέργεια (έως το μέγιστο των 13.000 μεγαβάτ στις 15 Φεβρουαρίου) και να διευκολύνουν τις ελλείψεις παραγωγής για να καλύψουν τη ζήτηση αιχμής.

²⁷ <https://www.ferc.gov/sites/default/files/2020-07/OutagesandCurtailmentsDuringtheSouthwestColdWeatherEventofFebruary1-5-2011.pdf> (Συστάσεις 11, 14-19), <https://www.ferc.gov/sites/default/files/2020-07/SouthCentralUnitedStatesColdWeatherBulkElectricSystemEventofJanuary17-2018.pdf>

Τα αίτια των διακοπών

Τα προβλήματα πάγου (44,2%) και τα προβλήματα καυσίμων (31,4%) συνέβαλαν στο 75,6% του συνολικού απρογραμματίστου χρόνου διακοπής λειτουργίας 4.124 μονάδων παραγωγής κατά τη διάρκεια του συμβάντος. Ένα άλλο 21,1% των προκλήθηκε από μηχανικά ή/και ηλεκτρικά προβλήματα. Αυτά τα προβλήματα σχετίζονταν επίσης με χαμηλές θερμοκρασίες. Καθόσο οι θερμοκρασίες ολοένα και μειώνονται, ο αριθμός των μονάδων παραγωγής που κλείνουν αυξάνεται δραματικά. Συνολικά, περίπου το 48% των διακοπών ERCOT, το 45% των MISO και το 36% των SPP οφείλονταν σε ζητήματα πάγου.

Τα προβλήματα πάγου προκύπτουν καθώς οι μονάδες παραγωγής δεν είχαν προετοιμαστεί για τις χαμηλές θερμοκρασίες, τους δυνατούς ανέμους και το δυνατό χιόνι στο οποίο εκτέθηκαν. Κάποια από τα εξαρτήματα και συστήματα των κυψελών παραγωγής παγώνουν πιο συχνά, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα. Κορυφαίες κατηγορίες έχουν επανειλημμένα προκαλέσει διακοπές σε πολλαπλά συμβάντα. Κάποια από αυτά είναι πομποί, γραμμές ανίχνευσης, βαλβίδες, συστήματα εισαγωγής αέρα και πτερύγια ανεμογεννητριών. Εάν αυτά τα πιο ευάλωτα στοιχεία, που θεωρούνται «συστατικά κρίσιμα για το κρύο», προστατεύονται καλύτερα πριν συμβούν μελλοντικά κρύα καιρικά φαινόμενα, θα μπορούν να προληφθούν διακοπές λειτουργίας. φαίνεται παρακάτω, ένας GO (Generator Owner: Ιδιοκτήτης Γεννητριών ΙΓ) δεν χρειάζεται να μαντέψει πού να επικεντρωθεί στην προετοιμασία για το χειμώνα. Η προστασία πομπών, γραμμών ανίχνευσης και οργάνων, καθώς και πτερυγίων ανεμογεννητριών, από πάγο θα μπορούσε να μειώσει τα MW των μονάδων παραγωγής που αντιμετωπίζουν διακοπές κατά 67 % στο ERCOT, 47 % στην SPP και 55 % στον MISO.

Πίνακας 3: Υποαιτίες παγώματος ERCOT, SPP και MISO Νότιας Μονάδας Παραγωγής

ERCOT					
Equipment Category	Components and Systems	Generating Units	MW Outaged or Derated ¹	Percent of MW Outaged or Derated	
67% —	Turbine Blades (33% of MW Outaged/Derated)	Icing on blades	190	22,231	32.5%
	Instrumentation (35% of MW Outaged/Derated)	Frozen transmitter	61	10,757	15.7%
		Frozen sensing lines	37	8,791	12.9%
Frozen instrumentation		27	4,203	6.2%	
Other Equipment Freezing Problems	Frozen equipment	73	6,941	10.2%	
	Frozen valve	31	4,941	7.2%	
	Equipment failure	41	4,734	6.9%	
	Other freeze-related issue ²	29	5,705	8.4%	

¹ Units with multiple freeze-related outages are counted once per subcause using the maximum MW outaged.
² Includes freeze-related subcauses external to the generating unit such as frozen coal or ice on transmission lines.

SPP					
Equipment Category	Components and Systems	Generating Units	MW Outaged or Derated ¹	Percent of MW Outaged or Derated	
47% —	Turbine Blades (32% of MW Outaged/Derated)	Icing on blades	63	8,703	32.3%
	Instrumentation (15% of MW Outaged/Derated)	Frozen sensing lines	10	1,820	6.8%
		Frozen instrumentation	4	1,236	4.6%
Frozen transmitter		8	991	3.7%	
Other Equipment Freezing Problems	Frozen equipment	59	6,913	25.7%	
	Equipment failure	12	1,476	5.5%	
	Frozen valve	11	1,227	4.6%	
	Other freeze-related issue ²	19	4,552	16.9%	

¹ Units with multiple freeze-related outages are counted once per subcause using the maximum MW outaged.
² Includes freeze-related subcauses external to the generating unit such as frozen coal or ice on transmission lines.

MISO South					
Equipment Category	Components and Systems	Generating Units	MW Outaged or Derated ¹	Percent of MW Outaged or Derated	
55% —	Instrumentation (55% of MW Outaged/Derated)	Frozen transmitter	23	8,384	39.7%
		Frozen instrumentation	6	1,847	8.7%
		Frozen sensing lines	7	1,440	6.8%
Other Equipment Freezing Problems	Frozen equipment	16	3,847	18.2%	
	Frozen valve	5	1,276	6.0%	
	Equipment failure	2	540	2.6%	
	Other freeze-related issue ²	6	3,792	17.9%	

¹ Units with multiple freeze-related outages are counted once per subcause using the maximum MW outaged.
² Includes freeze-related subcauses external to the generating unit such as frozen coal or ice on transmission lines.

Γραμμές και πομποί ανίχνευσης: Τα όργανα ηλεκτροπαραγωγής, συμπεριλαμβανομένων των πομπών και των γραμμών ανίχνευσης, παρέχουν δεδομένα απαραίτητα για την παρακολούθηση διαφόρων λειτουργικών παραμέτρων και τον έλεγχο των μονάδων παραγωγής. Συνήθως, μια γραμμή ανίχνευσης που περιέχει στήλη στάσιμου νερού χρησιμοποιείται για την ανίχνευση μεταβολών της πίεσης και ο παράγει ένα ηλεκτρονικό σήμα που μεταδίδει πληροφορίες στο σύστημα ελέγχου της εγκατάστασης. Σε τόσο χαμηλές θερμοκρασίες, εάν δεν χρησιμοποιείται αντιψυκτικό, το νερό στη γραμμή μπορεί να παγώσει, με αποτέλεσμα ένα λανθασμένα σήματα.

Εκτός από τα παγωμένα πτερύγια σε ανεμογεννήτριες, οι παγωμένοι πομποί και οι γραμμές ανίχνευσης αποτελούσαν την πλειονότητα των αιτιών διακοπών που

σχετίζονται με το Συμβάν, σε όλους τους τύπους μονάδων. Οι παγωμένες γραμμές αισθητήρων και πομποί είναι τα κυριότερα αίτια των διακοπών. Άλλες αντιπροσωπευτικές διακοπές λειτουργίας που προκαλούνται από κρίσιμα για τον κρύο καιρό εξαρτήματα περιλαμβάνουν:

Μονάδες ERCOT:

- Οι γραμμές ανίχνευσης της ροής παγωμένου νερού προκάλεσαν τη διακοπή λειτουργίας μονάδας παραγωγής φυσικού αερίου ισχύος 568 MW.
- Οι γραμμές ανίχνευσης πομπού στάθμης παγωμένου ατμού προκάλεσαν την ενεργοποίηση μιας μονάδας άνθρακα στα 577 MW λόγω μιας ψευδούς ένδειξης υψηλής στάθμης.

Μονάδες MISO:

- Οι ακανόνιστες ενδείξεις πομπών στάθμης που σχετίζονται με το κρύο προκάλεσαν μείωση κατά 130 MW σε μια μονάδα παραγωγής φυσικού αερίου ισχύος 1.000 MW.
- Ένα τμήμα 6 ιντσών της σωλήνωσης αισθητήριας γραμμής χωρίς μόνωση προκάλεσε τη διακοπή λειτουργίας μιας αντλίας τροφοδοσίας, με αποτέλεσμα μια μονάδα παραγωγής φυσικού αερίου 899 MW να μειωθεί κατά 238 MW και αργότερα να διακοπεί.

Μονάδες SPP:

- Το πάγωμα των δύο από τα τρία όργανα ροής κλιβάνου προκάλεσε την πτώση μιας μονάδας άνθρακα 650 MW.
- Ένας παγωμένος πομπός οδήγησε σε ψευδή ένδειξη στάθμης ατμού, έκλεισε τις αντλίες τροφοδοσίας λέβητα, προκαλώντας χαμηλή πίεση και ενεργοποιώντας μια μονάδα φυσικού αερίου 165 MW.

Πάγωμα λεπίδας: Κατά τη διάρκεια του ατυχήματος, οι λεπίδες πάγωσαν προκαλώντας πολλαπλά λειτουργικά προβλήματα στο αιολικό πάρκο. Η βροχόπτωση και η συμπύκνωση κατά τη διάρκεια ψυχρών περιόδων μπορεί να προκαλέσουν σχηματισμό παγοκωμάτων στα πτερύγια του στροβίλου, προκαλώντας προβλήματα με τα ρουλεμάν και άλλα προβλήματα εξοπλισμού καθώς και ανησυχίες για την ασφάλεια. Τα παρακάτω παραδείγματα είναι χαρακτηριστικά των λειτουργικών ζητημάτων που αντιμετωπίζουν οι μονάδες αιολικής παραγωγής κατά τη διάρκεια του Συμβάντος.

Μονάδες ERCOT:

- Το πάγωμα της λεπίδας σε αρκετούς στροβίλους είχε ως αποτέλεσμα την αυτόματη απενεργοποίηση από τους ελεγκτές του στροβίλου για την αποφυγή προβλημάτων στον εξοπλισμό, υποβαθμίζοντας την ισχύ μιας μονάδας παραγωγής ανέμου από 94 MW σε περίπου 50 MW.
- Η συσσώρευση πάγου στα πτερύγια των στροβίλων προκάλεσε αεροδυναμική υποβάθμιση των πτερυγίων, μειώνοντας την ικανότητα των επηρεαζόμενων ανεμογεννητριών να παράγουν ισχύ, μειώνοντας έτσι την ισχύ μιας εγκατάστασης αιολικής παραγωγής από 230 MW στα 130 MW.

Μονάδα SPP:

- Τα παγωμένα πτερύγια ανεμογεννητριών προκάλεσε αναγκαστική διακοπή λειτουργίας αιολικής εγκατάστασης ισχύος 400 MW.

Όρια χαμηλής θερμοκρασίας: Οι ανεμογεννήτριες είναι συνήθως σχεδιασμένες να λειτουργούν εντός ενός καθορισμένου εύρους θερμοκρασίας περιβάλλοντος και μπορούν να σβήσουν αυτόματα για να προστατεύσουν τα εξαρτήματά τους. Παρόλο που οι κατασκευαστές προσφέρουν "συστήματα προστασίας για ακραίες καιρικές συνθήκες",²⁸ που επιτρέπουν σε έναν στρόβιλο να συνεχίσει να λειτουργεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, οι GO που ρωτήθηκαν στο ERCOT δεν επέλεξαν συνήθως αυτήν την επιλογή. Για παράδειγμα, ένα αιολικό πάρκο ισχύος 230 MW υποβαθμίστηκε κατά 25 MW και αργότερα υπέστη διακοπές όταν οι ανεμογεννήτριες, σχεδιασμένες να κλείνουν σε θερμοκρασίες κάτω από τους πέντε βαθμούς, υπολειπορούσαν και έπειτα έκλεισαν. Οι λειτουργίες, η συντήρηση και η διαθεσιμότητα του στροβίλου βασίζονται σε αυτόν τον περιορισμό θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Στην SPP, 32 μονάδες αιολικής παραγωγής αντιμετώπισαν αυτόματες διακοπές λειτουργίας μόλις έφτασαν τα όρια θερμοκρασίας.

Μονάδες ERCOT:

²⁸ Η General Electric, η ανεμογεννήτρια 2,5xl της GE Energy προσφέρει τώρα δυνατότητες για εξαιρετικά κρύο καιρό για δύσκολες εφαρμογές στη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη, Δελτίο Τύπου (21 Σεπτεμβρίου 2009), <https://www.renewableenergyworld.com/om/ge-inks-1-gw-in-service-deals-offers-extreme-cold-weather-capabilities-for-2-5xl-turbine/>

- Κομμάτια πάγου μπήκαν σε έναν ανεμιστήρα και ήρθαν σε επαφή με τον ρότορα, προκαλώντας αστοχία του ανεμιστήρα με εξαναγκασμένο ρεύμα, που προκάλεσε ενεργοποίηση μιας μονάδας παραγωγής φυσικού αερίου ισχύος 325 MW.
- Το ψυγείο στην εισαγωγή ενός συμπιεστή πάγωσε εντελώς, εμποδίζοντας τον συμπιεστή να εισέλθει αέρα ή να συμπιέσει αέρα, με αποτέλεσμα την απώλεια 46 MW σε μια μονάδα παραγωγής φυσικού αερίου.

Μονάδες SPP:

- Φίλτρα εισόδου βουλωμένα με χιόνι οδήγησαν σε υψηλή διαφορική πίεση, αναγκάζοντας έναν στρόβιλο αερίου ισχύος 268 MW να βγει εκτός σύνδεσης.
- Έλλειψη εξωτερικής θερμότητας και μόνωση του λέβητα απέτυχαν σε μέρος του συστήματος θερμοκρασίας αναθέρμανσης, προκαλώντας διακοπή λειτουργίας μονάδας άνθρακα 500 MW.

Παγωμένες βαλβίδες: Οι βαλβίδες μπορεί να γίνουν υποτονικές όταν εκτίθενται σε ακραίο κρύο. Ανάλογα με τη συγκεκριμένη εφαρμογή αυτών των εξαρτημάτων, οι αργές βαλβίδες μπορεί να προκαλέσουν αστάθεια στον έλεγχο του λέβητα ή του στρόβιλου, με αποτέλεσμα τελικά τη διακοπή λειτουργίας της μονάδας. Παρακάτω είναι ένα παράδειγμα μονάδας παραγωγής που αντιμετωπίζει προβλήματα ψυχρής βαλβίδας κατά τη διάρκεια της εκδήλωσης.

Μονάδες ERCOT:

- Οι βαλβίδες ελέγχου ατμού υψηλής πίεσης πάγωσαν, διακόπτοντας τον ατμό στον στρόβιλο και απενεργοποιώντας μια μονάδα παραγωγής, με καύση φυσικού αερίου, με ισχύ 262 MW.
- Το πάγωμα των βαλβίδων και των γραμμών αποστράγγισης σε επικουρικούς λέβητες κατέστησαν αδύνατη την εκκίνηση μιας μονάδας με καύση φυσικού αερίου (ισχύς 749 MW).

Μονάδα MISO: Οι ρυθμιστές αερίου σε δύο μονάδες ατμού προκάλεσαν μείωση 22 MW σε μονάδα παραγωγής φυσικού αερίου.

Γραμμές παγωμένου νερού: Τα συστήματα τροφοδοσίας νερού λέβητα των μονάδων παραγωγής ατμού (άνθρακας, συμβατικό αέριο και συνδυασμένος κύκλος) χρησιμοποιούν νερό από τον συμπυκνωτή και προσθέτουν θερμότητα και πίεση για να

αυξήσουν την απόδοση του κύκλου πριν εισέλθει το νερό στους λέβητες. Οι σωληνώσεις, τα δοχεία πίεσης και οι βαλβίδες σε αυτά τα συστήματα τροφοδοσίας πάγωσαν, λόγω απουσία μέτρων προστασίας. Εάν κατά τη διάρκεια των χαμηλών θερμοκρασιών η μονάδα βρίσκεται για οποιονδήποτε λόγο εκτός σύνδεσης, τα παραπάνω φαινόμενα πολλαπλασιάζονται. Παρακάτω αναφέρονται συγκεκριμένα παραδείγματα τυπικών λειτουργικών ζητημάτων καθ' όλη τη διάρκεια του Συμβάντος:

Μονάδα ERCOT:

- Μονάδα λειτουργίας, ισχύος 474 MW, διέκοψε την λειτουργία της εξαιτίας του παγώματος του αερόψυκτου συμπυκνωτή.

Μονάδες MISO:

- Ένας παγωμένος σωλήνας έσπασε στο σύστημα μικροφιλτραρίσματος του νερού, προκαλώντας υποβάθμιση μιας μονάδας παραγωγής φυσικού αερίου ισχύος 551 MW κατά 264 MW.
- Τα προβλήματα παγωνιάς σε ένα σύστημα κυκλοφορίας νερού οδήγησαν σε υποβάθμιση ενός εργοστασίου άνθρακα κατά 265 MW.

Μονάδα SPP:

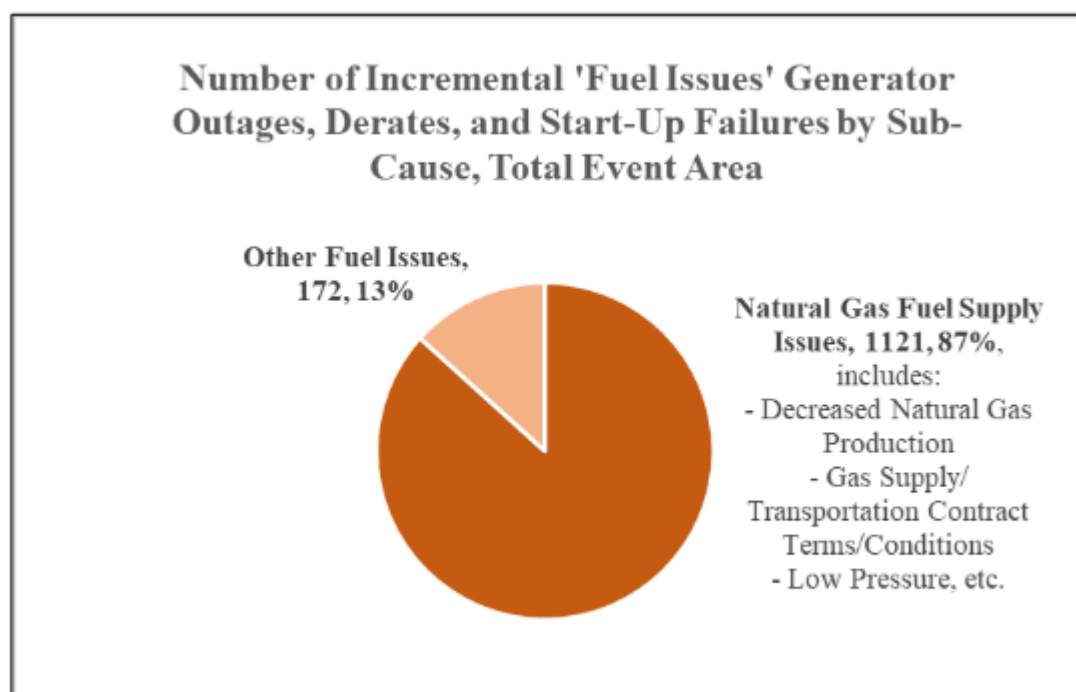
- Μια παγωμένη γραμμή παροχής εξάλειψε όλη τη ροή νερού στο σύστημα σωληνώσεων τ της γεννητριών ατμού ανάκτησης θερμότητας, αναγκάζοντας μια μονάδα παραγωγής φυσικού αερίου 350 MW εκτός λειτουργίας.

Όλα αυτά έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια του Συμβάντος, παρά το γεγονός ότι το συμβάν ήταν το τέταρτο κατά σειρά που συνέβη στις Η.Π.Α. την τελευταία δεκαετία, θέτοντας σε κίνδυνο την αξιοπιστία του BES. Αρκετά από αυτά τα γεγονότα οδήγησαν σε δημοσιευμένες αναφορές και συστάσεις.

Παραγωγή και Διανομή Φυσικού Αερίου

Οι διακοπές των μονάδων παραγωγής και η προμήθεια φυσικού αερίου ήταν άρρηκτα συνδεδεμένες με το Συμβάν. Τα προβλήματα που οφειλόταν σε παροχή καυσίμων (31,4%) ήταν το δεύτερο σημαντικότερο αίτιο των απρογραμμάτιστων διακοπών. Το ογδόντα επτά τοις εκατό αυτών σχετίζονταν με προβλήματα διανομής αερίου και το 13 τοις εκατό σχετίζονταν με άλλα καύσιμα όπως ο άνθρακας και το μαζούτ, όπως φαίνεται παρακάτω. Το 27,3% των εργοστασίων έκλεισαν λόγω ζητημάτων παροχής

αερίου. Τα προβλήματα προμήθειας καυσίμου φυσικού αερίου περιλαμβάνουν μειώσεις στην παραγωγή φυσικού αερίου, τη χαμηλή πίεση στον αγωγό και άλλα ζητήματα. Κατά τη διάρκεια του Συμβάντος, απρογραμματίστες διακοπές φρεατίων φυσικού αερίου λόγω παγετού,²⁹ μείωσαν το διαθέσιμο φυσικό αέριο για προμήθεια και μεταφορά σε πολλές μονάδες παραγωγής φυσικού αερίου στο Τέξας και στις Νότιο Κεντρικές Η.Π.Α.



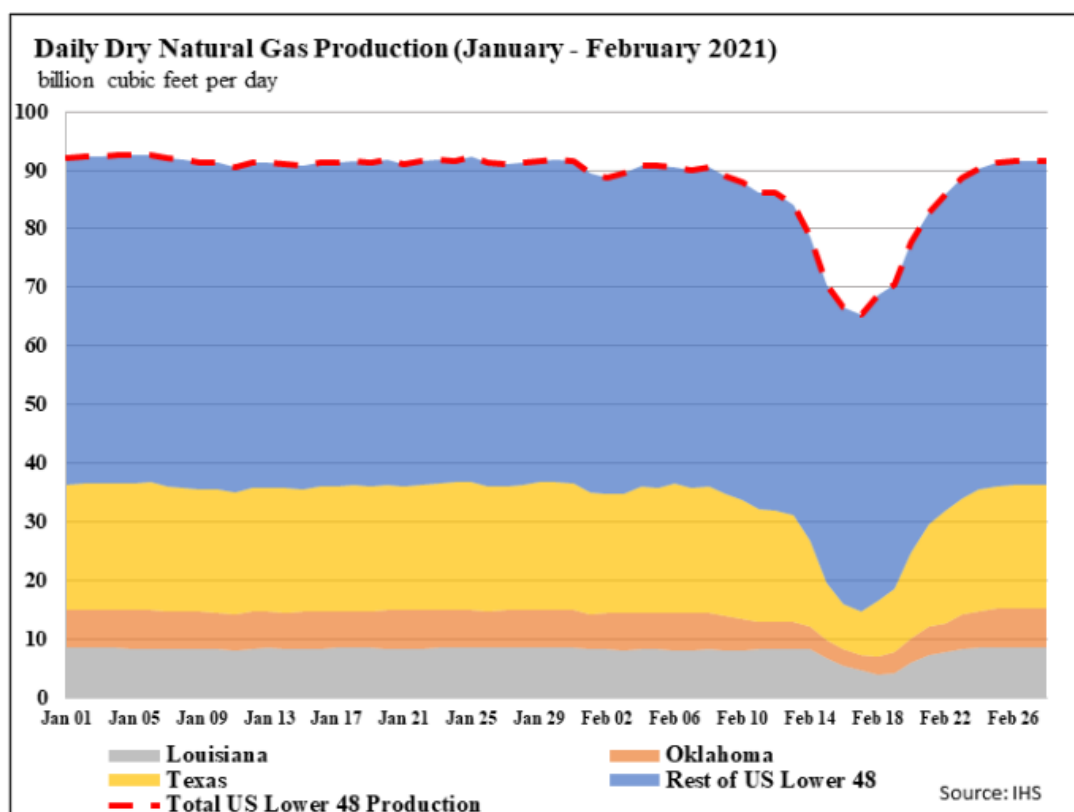
Εικόνα 11: Προβλήματα καυσίμου – Όλοι οι τύποι παραγωγής

Οι μονάδες με καύση φυσικού αερίου αντιπροσώπευαν επίσης το μεγαλύτερο ποσοστό των μονάδων παραγωγής που παρουσίασαν απρογραμματίστες διακοπές λειτουργίας.

Επισκόπηση θεμάτων προμήθειας φυσικού αερίου. Από τις 8 Φεβρουαρίου έως τις 20 Φεβρουαρίου, οι συνδυασμένες επιπτώσεις της μειωμένης παραγωγής φυσικού αερίου, οι ειδικοί όροι και προϋποθέσεις των συμβάσεων μεταφοράς εμπορευμάτων και αγωγών φυσικού αερίου και άλλα ζητήματα όπως η χαμηλή πίεση στον αγωγό,

²⁹ Γλωσσάρι Φυσικού Αερίου AGA

είχαν ως αποτέλεσμα συνολικά 357 μεμονωμένες εταιρείες παραγωγής φυσικού αερίου μονάδες εντός ERCOT (185 μονάδες), SPP (141 μονάδες) και MISO, (31 μονάδες) να αντιμετωπίσουν 1.121 διακοπές, μειώσεις ή αστοχίες εκκίνησης.



Εικόνα 12: Όγκος παραγωγής Φυσικού Αερίου κατά ημέρα για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο 2021

Παράγοντες που επηρέασαν την Παραγωγή. Το πάγωμα της κεφαλής των φρεατίων κατά τη διάρκεια του Συμβάντος μείωσε την παραγωγή φυσικού αερίου. Ως αποτέλεσμα, η συνολική παραγωγή φυσικού αερίου στις Η.Π.Α. μειώθηκε στα 1851 λίτρα/ημέρα στις 17 Φεβρουαρίου, μείωση 28 % από το επίπεδο παραγωγής των 2571 λίτρα/μέρα που φάνηκε στις 8 Φεβρουαρίου (όπως φαίνεται στην Εικόνα 20 παραπάνω). Οι περισσότερες περιοχές παραγωγής των Η.Π.Α. είδαν μια απότομη μείωση και ανάκαμψη που σχετίζεται με τις καιρικές συνθήκες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 20, παραπάνω. Τα περισσότερα αποτελέσματα των ζητημάτων παραγωγής φυσικού αερίου έγιναν αντιληπτά στην Οκλαχόμα, στη Λουιζιάνα και φυσικά στο Τέξας. Συγκριτικά με τον μέσο όρο του Ιανουαρίου 2021, τα ποσοστά μείωσης

παραγωγής που σημειώθηκαν ήταν τα εξής: Τέξας 70,1%, Οκλαχόμα 56,8%, Λουιζιάνα 53,5%. Η μέση μείωση της παραγωγής σε αυτές τις πολιτείες ήταν πάνω από το 80 % του συνόλου σε όλες τις 48 Πολιτείες κατά την περίοδο 15-20 Φεβρουαρίου σε σύγκριση με τη μέση παραγωγή τον Ιανουάριο του 2021.

Παράγοντες καιρού. Η σημαντικότερη αιτία μείωσης παραγωγής αερίου ήταν οι καιρικές συνθήκες με ποσοστό 58%. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει μειώσεις παραγωγής που προκαλείται άμεσα από παγετό, προληπτικό κλείσιμο για την προστασία των εγκαταστάσεων φυσικού αερίου από τον παγετό.

Έλλειψη τροφοδοσίας σε εγκαταστάσεις φυσικού αερίου. Συνολικά, η έλλειψη ενέργειας σε εγκαταστάσεις φυσικού αερίου είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής με ποσοστό 23,5%. Οι διακοπές ρεύματος στις υποδομές φυσικού αερίου οφείλονται κυρίως στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες καθώς επίσης και στις χειροκίνητες διακοπές λειτουργίας. Επειδή πολλά φορτία τροφοδοσίας δεν είχαν αναγνωριστεί ως κρίσιμα φορτία για να προστατεύονται από χειροκίνητη σταθερή απόρριψη, η ακριβής έκταση της απόρριψης σταθερού φορτίου προκάλεσε διακοπές ρεύματος σε άγνωστα κρίσιμα φορτία υποδομής φυσικού αερίου. Σημείο έναρξης των φαινομένων διακοπών θεωρείται το πρωινό της 15 Φλεβάρη 2021.

Ο υπολογισμός του ακριβούς ποσοστού της μείωσης της παραγωγής που προκαλείται από διακοπές ρεύματος καθημερινά κατά τη διάρκεια του Συμβάντος έθεσε προκλήσεις. Τα δεδομένα που ανακτήθηκαν από τους διάφορους εμπλεκόμενους φορείς δεν χαρακτηρίζονται από ακρίβεια. Ωστόσο, το ποσοστό μείωσης της παραγωγής που προκλήθηκε από διακοπές ρεύματος διέφερε ελάχιστα μεταξύ των ημερών του Συμβάντος (23,5 %) , 14 Φεβρουαρίου (20,2 %) και 17 Φεβρουαρίου, που ήταν η ημέρα των μέγιστων απωλειών παραγωγής (23 %). Σύμφωνα με τις εικόνες 21 - 23, οι απώλειες παραγωγής αποδίδονται σε διάφορες αιτίες, συμπεριλαμβανομένων των «απωλειών τροφοδοσίας» και «απωλειών τροφοδοσίας αγωγών αερίου»

Πίνακας 4: Αιτίες Διακοπών παραγωγής φυσικού αερίου, 8-20 Φεβρουαρίου 2021

Production Event Causes on February 8th - 20th			
	Natural Gas Infrastructure Condition	Facility Event Causes	
86%	Freezing Temperature and Weather Conditions (43.2% of production disruptions)	Facility Shut-ins to Prevent Imminent Freezing Issues	18.0%
		Freezing Issues - Midstream	5.1%
		Freezing Issues at Well and Gathering Facilities	11.1%
		Freezing Issues on Roads/Access to Well and Gathering Facilities	9.1%
Loss of Power Supply (21.4% of production disruptions)	Midstream - Loss of Power Supply	10.4%	
	Well/Gathering Facilities- Loss of Power Supply	11.1%	
Multiple Issues (21.3% of production disruptions)	Multiple Issues (combination of two or more of above issues)	21.3%	
	Midstream - Line Pressure	4.9%	
Other Issues, Unrelated Issues (14% of production disruptions)	Midstream - Other	0.4%	
	Well and Gathering Facility Issues - Not Applicable to Event	8.8%	
	Well and Gathering Facility Issues - Not Applicable to Event	8.8%	
Total		100.0%	

Πίνακας 5: Αιτίες Διακοπών παραγωγής φυσικού αερίου για τις 14 Φεβρουαρίου, 9:00 π.μ. έως 15 Φεβρουαρίου, 9:00 π.μ. (συμπεριλαμβανομένου τμήματος του Συμβάντος ERCOT Load Shed)

Production Event Causes on February 14th (Gas Day, inclusive of a portion of ERCOT Load Shed Event)			
	Natural Gas Infrastructure Condition	Facility Event Causes	
88.4%	Freezing Temperature and Weather Conditions (52.1% of production disruptions)	Facility Shut-ins to Prevent Imminent Freezing Issues	33.6%
		Freezing Issues - Midstream	2.2%
		Freezing Issues at Well and Gathering Facilities	15.6%
		Freezing Issues on Roads/Access to Well and Gathering Facilities	0.8%
Loss of Power Supply (18.1% of production disruptions)	Midstream - Loss of Power Supply	10.0%	
	Well/Gathering Facilities- Loss of Power Supply	8.1%	
Multiple Issues (18.2% of production disruptions)	Multiple Issues (combination of two or more of above issues)	18.2%	
	Midstream - Line Pressure	1.6%	
Other Issues, Unrelated Issues (11.6% of production disruptions)	Midstream - Other	0.0%	
	Well and Gathering Facility Issues - Not Applicable to Event	10.0%	
	Well and Gathering Facility Issues - Not Applicable to Event	10.0%	
Total		100.0%	

Εξετάζεται η ημέρα αιχμής για απώλεια παραγωγής φυσικού αερίου, η οποία σημειώθηκε την 17η Φεβρουαρίου. Ακόμη και κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η απώλεια τροφοδοσίας προκάλεσε μόνο το 21 % της μείωσης της παραγωγής, ενώ το 44,5 % προκλήθηκε από τον παγετό.

Πίνακας 6: Αιτίες Συμβάντος παραγωγής φυσικού αερίου – 17 Φεβρουαρίου, 9:00 π.μ. έως 18 Φεβρουαρίου, 9:00 π.μ. Ημέρα Μέγιστης Απόλειας Παραγωγής Φυσικού Αερίου

Production Event Causes on February 17th (Day of Maximum Production Losses)			
	Natural Gas Infrastructure Condition	Facility Event Causes	
85.7%	Freezing Temperature and Weather Conditions (44.5% of production disruptions)	Facility Shut-ins to Prevent Imminent Freezing Issues	18.5%
		Freezing Issues - Midstream	5.3%
		Freezing Issues at Well and Gathering Facilities	10.0%
		Freezing Issues on Roads/Access to Well and Gathering Facilities	10.7%
Loss of Power Supply (21.6% of production disruptions)	Midstream - Loss of Power Supply	Well/Gathering Facilities- Loss of Power Supply	8.8%
		Well/Gathering Facilities- Loss of Power Supply	12.7%
Multiple Issues (19.6% of production disruptions)	Multiple Issues (combination of two or more of above issues)		19.6%
		Midstream - Line Pressure	5.9%
Other Issues, Unrelated Issues (14.3% of production disruptions)	Midstream - Other		0.5%
		Well and Gathering Facility Issues - Not Applicable to Event	7.9%
Total		100.0%	

Το 32 % είχε προβλήματα εφοδιασμού με καύσιμα τόσο πριν όσο και μετά την έναρξη της σταθερής απόρριψης φορτίου. Όλες οι διακοπές στις 14 Φλεβάρη αφορούσαν ζητήματα παροχής αερίου, τα οποία σημειώνονται ακριβώς πριν την απόρριψη φορτίων.

Πίνακας 7: Διακοπές, μειώσεις ή αστοχίες εκκίνησης της μονάδας παραγωγής φυσικού αερίου λόγω προβλημάτων τροφοδοσίας καυσίμου φυσικού αερίου - Πριν και μετά την εγκατάλειψη φορτίου επιχείρησης ERCOT

Natural gas fuel supply Issues caused outages/derates/failures to start:	<u>2/8 - 2/14</u> (Prior to Firm Load Shed)	<u>2/15 - 2/20</u> (During and After Firm Load Shed)
Total Individual Generating Units	213	258
ERCOT BA Footprint	111	134
SPP BA Footprint	91	103
MISO South Footprint	11	21

Επιπτώσεις στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Φυσικού Αερίου. Η επεξεργασία του φυσικού αερίου είναι διαδικασία αλληλένδετη με την παραγωγή του. Λογικό λοιπόν είναι, η μείωση παραγωγής να αντιπροσωπεύει το 61% των αιτιών της μείωσης της επεξεργασίας. Η απώλεια ισχύος (18 %) και τα προβλήματα παγώματος στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας (13 %) ήταν οι επόμενες δύο μεγαλύτερες αιτίες μείωσης.

Το μερίδιο των μειώσεων που προκλήθηκαν από διακοπές ρεύματος αυξήθηκε κατά έξι ποσοστιαίες μονάδες μεταξύ 14 Φεβρουαρίου, πριν από την πτώση σταθερού φορτίου (15 % της μείωσης της επεξεργασίας) και 17 Φεβρουαρίου, όταν οι απώλειες στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας ήταν οι μεγαλύτερες (21 % των μειώσεων επεξεργασίας).

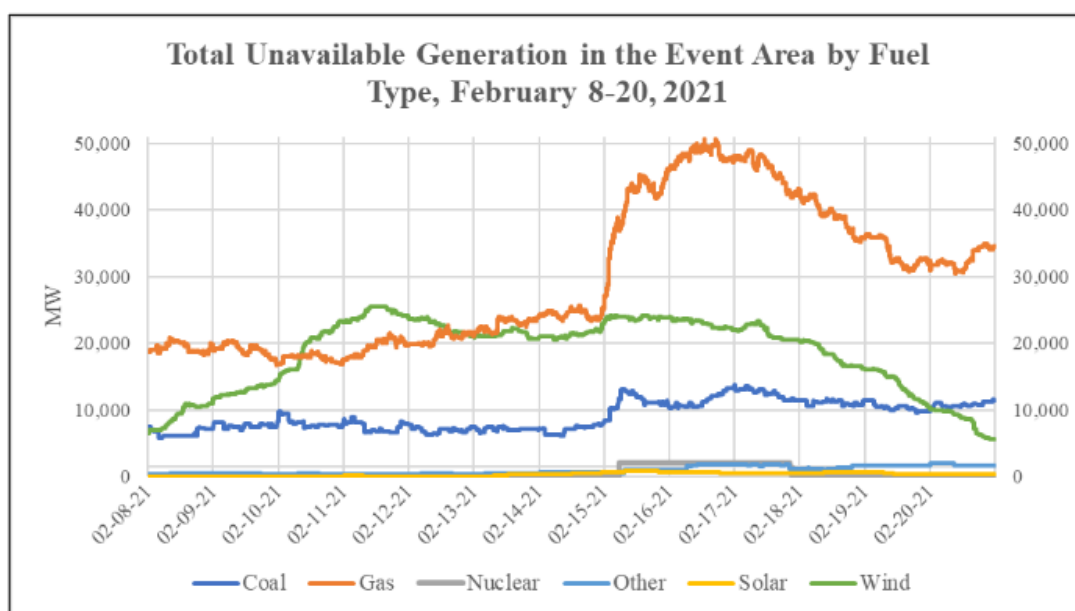
Πίνακας 8: Αιτίες Συμβάντων εγκατάστασης επεξεργασίας φυσικού αερίου για συγκεκριμένα χρονικά πλαίσια

Processing Facility Event Causes on February 8 - 20				
	Natural Gas Infrastructure Condition	Result	Facility Event Causes	
92%	Freezing Temperature and Weather Conditions (74% of Plant Disruptions)	Reduced Gas Receipts from Production / Gathering Facilities	Processing Facility Disruption	61%
		Freezing Issues at Processing Facilities	Processing Facility Disruption	13%
	Loss of Power (18% of Plant Disruptions)	Processing Facilities - Loss of Power Supply or curtailment	Processing Facility Disruption	18%
	Other Issues	Mechanical Failures - Non-Weather Related	Processing Facility Disruption	8%
	Total			100%
<i>*There were a total of 67 causes of processing plant events occurring from February 8 to February 20.</i>				
Processing Facility Event Causes on February 14				
	Natural Gas Infrastructure Condition	Result	Facility Event Causes	
100%	Freezing Temperature and Weather Conditions (85% of Plant Disruptions)	Reduced Gas Receipts from Production / Gathering Facilities	Processing Facility Disruption	73%
		Freezing Issues at Processing Facilities	Processing Facility Disruption	12%
	Loss of Power (15% of Plant Disruptions)	Processing Facilities - Loss of Power Supply or curtailment	Processing Facility Disruption	15%
	Other Issues	Mechanical Failures - Non-Weather Related	Processing Facility Disruption	0%
	Total			100%
<i>*There were a total of 34 causes of processing plants events occurring on February 14.</i>				
Processing Facility Event Causes on February 17				
	Natural Gas Infrastructure Condition	Result	Facility Event Causes	
100%	Freezing Temperature and Weather Conditions (79% of Plant Disruptions)	Reduced Gas Receipts from Production / Gathering Facilities	Processing Facility Disruption	76%
		Freezing Issues at Processing Facilities	Processing Facility Disruption	3%
	Loss of Power (21% of Plant Disruptions)	Processing Facilities - Loss of Power Supply or curtailment	Processing Facility Disruption	21%
	Other Issues	Mechanical Failures - Non-Weather Related	Processing Facility Disruption	0%
	Total			100%
<i>*There were a total of 33 causes of processing plant events occurring on February 17.</i>				

Κάποιοι αγωγοί καταστράφηκαν και άλλοι είχαν προβλήματα χαμηλής πίεσης. Η επίδραση στους αγωγούς κατά τη διάρκεια του Συμβάντος διέφερε από το προηγούμενο χειρότερο Συμβάν, 2011, λόγω των μειώσεων ρεκόρ στην παραγωγή φυσικού αερίου καθώς και του πρωτοφανούς αριθμού μονάδων παραγωγής φυσικού αερίου που απέτυχαν να αποδώσουν.³⁰ Τόσο τα ποσοστά μείωσης της παραγωγής φυσικού αερίου όσο και οι διακοπές λειτουργίας των μονάδων παραγωγής φυσικού αερίου αυξήθηκαν δραματικά το 2021 σε σύγκριση με το 2011. Για παράδειγμα, η

³⁰ERCOT Έκθεση 2011

μέγιστη παραγωγή φυσικού αερίου στο Τέξας κατά την περίοδο 1 έως 5 Ιανουαρίου 2011 μειώθηκε κατά 22 % σε σύγκριση με τον μέσο όρο Ιανουαρίου το 2011, αλλά η μέγιστη παραγωγή φυσικού αερίου στο Τέξας κατά τη διάρκεια της εκδήλωσης μειώθηκε κατά 70,1 % σε σύγκριση με την παραγωγή του Ιανουαρίου το 2021. Τα μέγιστα ποσοστά μείωσης παραγωγής αερίου στην Οκλαχόμα ήταν, 22 % κατά τη διάρκεια του Συμβάντος το 2011, 56,8 % το 2021. Αντίθετα, η Λουιζιάνα δεν επηρεάστηκε από το Συμβάν το 2011, και σημείωσε το αξιοπρόσεκτο ποσοστό μείωσης 53,5 % το 2021. Από την έναρξη του Συμβάντος, οι απρογραμματίστες διακοπές της μονάδας παραγωγής με καύση φυσικού αερίου για τη συνολική Περιοχή Εκδηλώσεων αυξήθηκαν κατά περίπου 30.³¹



Εικόνα 13: Συνολική μη διαθέσιμη παραγωγή στην περιοχή Συμβάντων ανά τύπο καυσίμου, 8-20 Φεβρουαρίου 2021

³¹ ERCOT, Έκθεση 2011

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

Οι συνθήκες σταδιακά βελτιώνονται

i. MISO και SPP

Τα τελευταία από τα επείγοντα περιστατικά έκτακτης ανάγκης ενέργειας EEA3 του για την απόρριψη σταθερού φορτίου σημειώθηκαν στις 16 Φεβρουαρίου. Ενώ 17 έως 19 Φεβρουαρίου μειώθηκαν οι έντονες καιρικές συνθήκες. Και οι τρεις περιοχές συνεχίζουν να έχουν ακόμη σημαντικές απρογραμμάτιστες διακοπές μονάδων ηλεκτροπαραγωγής, λόγω συνεχιζόμενων προβλημάτων παγωνιάς και παροχής καυσίμου φυσικού αερίου. Την Πέμπτη 18 Φεβρουαρίου, οι απρογραμμάτιστες διακοπές παραγωγής αποκαταστάθηκαν, καθώς οι θερμοκρασίες συνέχισαν να αυξάνονται. Παρέμειναν ορισμένες διακοπές λειτουργίας πελατών, λόγω βλαβών. Το ERCOT υποβάθμισε την ενεργειακή έκτακτη ανάγκη του σε EEA 2 την Παρασκευή 19 Φλεβάρη και επανήλθε σε ομαλούς ρυθμούς λειτουργίας την επομένη.

Δράσεις μετά το γεγονός από οντότητες και κυβέρνηση

Από εμπλεκόμενους φορείς

Στις 13 Ιουλίου 2021, η ERCOT παρέδωσε τον «Χάρτη πορείας για τη βελτίωση της αξιοπιστίας του δικτύου», μια λίστα εξήντα ενεργειών, καθεμία από τις οποίες επισημαίνεται «ολοκληρώθηκε», «σε πορεία» ή «περιορισμένη πρόοδος».³² Περίπου οι μισές από τις ενέργειες αφορούσαν άμεσα την αξιοπιστία, ενώ άλλες αφορούσαν ζητήματα επικοινωνίας, διακυβέρνησης ή αγοράς. Η ERCOT³³ έχει αρχίσει ήδη να αναπτύσσει νέες μετρήσεις πρόβλεψης φορτίου που θα ολοκληρωθούν το 2021.

Η MISO και η SPP δημοσίευσαν δημόσιες αναφορές για το συμβάν,³⁴ συμπεριλαμβανομένων, την ανάλυση των λειτουργιών του δικτύου, των αγορών, των επικοινωνιών και άλλων βασικών πτυχών των γεγονότων που σημειώθηκαν. Το MISO εντόπισε 20 συστάσεις, ενώνοντας κάθε βλάβη με μία ή περισσότερες «ενέργειες προς

³² ERCOT, Roadmap to Improve Grid Reliability, (July 13, 2021),

http://www.ercot.com/content/wcm/lists/219694/ERCOT_Roadmap_Final_July_13_2021.pdf

³³ ERCOT Nodal Protocol Revision Request Number 1089 (28 Ιουλίου 2021) Nodal Protocol Revision Request (NPRR) 1089

³⁴ MISO, The February Arctic Event: Event Details, Lessons and Implications for Reliability Imperative, <https://cdn.misoenergy.org/2021%20Arctic%20Event%20Report554429.pdf>

αντιμετώπιση». Η SPP ανακοίνωσε 22 συστάσεις αναφορικά με δράσεις, πολιτικές και αξιολογήσεις, οι οποίες οργανώνονται σε 3 επίπεδα προτεραιότητας.

Οι περισσότερες από τις συστάσεις αφορούσαν επικοινωνίες, ζητήματα αγοράς και θέματα αξιοπιστίας του BES, όμοια με τον Οδικό Χάρτη (ERCOT). Άλλες συστάσεις κάλυψαν επίσης σημαντικά θέματα αξιοπιστίας, όπως επάρκεια πόρων, διασφάλιση καυσίμου, σχεδιασμό σεναρίων ακραίων συμβάντων, ασκήσεις έκτακτης ανάγκης, ανάλυση καταστάσεων, εκπαίδευση προσωπικού και προστασία κρίσιμων υποδομών.

Από Νομικά Πρόσωπα

Η Γερουσία του Τέξας, κατά τη διάρκεια του συμβάντος, ψήφισε το σημαντικότερο νομοσχέδιο (SB3), το οποίο τέθηκε σε ισχύ από τις 8 Ιουνίου 2021. Αυτό ενσωματώνει διατάξεις για τις δημόσιες επικοινωνίες έκτακτης ανάγκης, τον συντονισμό των παραγωγών φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας, την προστασία υποδομών αερίου και πρόσθετες επιθεωρήσεις και αναφορές ετοιμότητας σχετικά με τον χειμώνα. Κάποιες από τις σημαντικότερες διατάξεις είναι οι ακόλουθες:³⁵

- Ανάπτυξη ενός συναγερμού για την ειδοποίηση διακοπής ρεύματος στον οποίο θα συμμετέχουν φορείς όπως η PUCT (Public Utility Commission of Texas: Επιτροπή Κοινής Ωφέλειας του Τέξας ΕΚΩΤ) και το Υπουργείο Μεταφορών.
- Δημιουργία ενός νέου «Συμβουλίου Ενεργειακής Αξιοπιστίας του Τέξας», με σκοπό την προώθηση της καλύτερης επικοινωνίας μεταξύ των βιομηχανιών φυσικού αερίου και παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας. Μέλη του συμβουλίου θα είναι η Επιτροπή Σιδηροδρόμων του Τέξας και οι πρόεδροι των PUCT, ERCOT καθώς και μέλη από τις αντίστοιχες βιομηχανίες.
- Δημιουργία Επιτροπής Χαρτογράφησης Αλυσίδας Εφοδιασμού Ηλεκτρικής Ενέργειας. Αυτοσκοπός θα είναι η ιεράρχηση των αναγκών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια ακραίων καιρικών φαινομένων. Ακόμη, ο χάρτης θα πρέπει να ενημερώνεται κάθε χρόνο. Η επιτροπή κλήθηκε επίσης να υποβάλει έκθεση στο νομοθετικό σώμα σχετικά με την "αξιοπιστία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας" και

³⁵ "Senate Bill 3: An Act relating to certain curriculum in public schools, including certain instructional requirements and prohibitions". Act of July 16, 2021 (PDF). Archived from the original on October 23, 2021. Retrieved October 23, 2021

να υποβάλει συστάσεις για τη μείωση της συχνότητας των διακοπών ρεύματος κατά τη διάρκεια μιας καταστροφής. Αποτελούμενη από τους διευθυντές των PUCT, της Επιτροπής Σιδηροδρόμων και τον Πρόεδρο και Διευθύνοντα Σύμβουλο της ERCOT, η επιτροπή είναι υπεύθυνη για τη χαρτογράφηση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας του Τέξας και τον εντοπισμό βασικών εγκαταστάσεων παραγωγής. Μεταξύ των καθηκόντων της, υπογραμμίζονται και οι βελτιώσεις στο δίκτυο για τη διατήρηση της αξιοπιστίας του κατά τη διάρκεια ακραίων καιρικών φαινομένων.

- Απαίτηση των εγκαταστάσεων της αλυσίδας εφοδιασμού φυσικού αερίου να σημειώνονται στον χάρτη της αλυσίδας εφοδιασμού ηλεκτρικής ενέργειας και που εξυπηρετούν απευθείας μονάδες παραγωγής φυσικού αερίου, με σκοπό την «εφαρμογή μέτρων προετοιμασίας για λειτουργία κατά τη διάρκεια έκτακτης ανάγκης», να υπόκεινται σε επιθεωρήσεις (προτεραιότητα βάσει του επιπέδου κινδύνου).
- Απαίτηση από το PUCT και το RRC να συνεργαστούν με σκοπό τον χαρακτηρισμό εγκαταστάσεων και φορέων φυσικού αερίου ως κρίσιμους πελάτες ηλεκτρικής ενέργειας ή κρίσιμους προμηθευτές φυσικού αερίου, που θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν παραγωγή, επεξεργασία και μεταφορά φυσικού αερίου, σχετικές εγκαταστάσεις διάθεσης νερού και παράδοση φυσικού αερίου στις μονάδες παραγωγής, και η απαίτηση ότι μόνο οι εγκαταστάσεις που είναι προετοιμασμένες να λειτουργήσουν κατά τη διάρκεια έκτακτης ανάγκης μπορεί να χαρακτηριστούν ως κρίσιμες.
- Απαιτώντας από τις δημοτικές επιχειρήσεις κοινής ωφελείας, τους συνεταιρισμούς, τις εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να εφαρμόσουν μέτρα για την προετοιμασία των μονάδων παραγωγής τους.
- Απαίτηση από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να παρέχουν στους πελάτες πληροφορίες σχετικά με την ακούσια απόρριψη φορτίου και πώς να υποβάλουν αίτηση για να γίνουν πελάτες λιανικής «έκτακτης ανάγκης» ή άλλη προστατευόμενη κατηγορία πελατών λιανικής.
- Προσθήκη νέων κανόνων σχετικά με τον τρόπο διεξαγωγής της σταθερής απόρριψης φορτίου, συμπεριλαμβανομένης της εξέτασης από το PUCT εάν οι φορείς πληρούν τις απαιτούμενες προϋποθέσεις.

- Απαίτηση προμήθειας ανταγωνιστικών «επικουρικών υπηρεσιών» για τη διασφάλιση αξιοπιστίας κατά τη διάρκεια ακραίων καιρικών φαινομένων.

Στις 21 Οκτωβρίου 2021, το PUCT εξέδωσε έναν τελικό κανόνα που απαιτεί από τις μονάδες παραγωγής της ERCOT να προβούν σε ορισμένες ενέργειες προετοιμασίας για το χειμώνα έως την 1η Δεκεμβρίου 2021, συμπεριλαμβανομένων:

- Καταβολή των καλύτερων προσπαθειών για την εφαρμογή μέτρων που αποσκοπούν στη διασφάλιση της καλής λειτουργίας των «κρίσιμων εξαρτημάτων για το κρύο».³⁶
- Λήψη συγκεκριμένων μέτρων προετοιμασίας, συμπεριλαμβανομένης της εγκατάστασης επαρκών διόδων αερισμού, της εγκατάστασης αισθητήρων για κρίσιμα εξαρτήματα, εγκατάσταση/επισκευή θερμομόνωσης, επιβεβαίωση της λειτουργικότητας των συστημάτων πρόληψης υγρασίας, συντήρηση και δοκιμή (σε μηνιαία βάση, Νοέμβριος έως Μάρτιος) εξαρτημάτων αντιψυκτικής προστασίας και εγκατάσταση συστημάτων παρακολούθησης για κρίσιμα εξαρτήματα (π.χ. ανίχνευση θερμότητας ή συστήματα πρόληψης υγρασίας).

Βασικές συστάσεις³⁷

Το μέγεθος του Συμβάντος και η σοβαρότητα των συνεπειών που προέκυψαν, δικαιολογούν την άμεση εφαρμογή των Συστάσεων. Στην εκάστοτε σύσταση ανατέθηκε 1 από τα 4 χρονοδιάγραμμα που θα έπρεπε να εφαρμοστούν. Το πρώτο χρονοδιάγραμμα έχει περιθώριο εφαρμογής μέχρι το χειμώνα του 2021-2022. Το δεύτερο χρονοδιάγραμμα έχει περιθώριο εφαρμογής μέχρι τον χειμώνα του 2022-2023. Το τρίτο χρονοδιάγραμμα έχει περιθώριο εφαρμογής μέχρι τον χειμώνα του 2023-2024, ενώ το τέταρτο χρονοδιάγραμμα έχει περιθώριο εφαρμογής μέχρι πριν το χειμώνα του 2023-2024.

³⁶ Rulemaking to Establish Electric Weatherization Standards, Project No. 51840, (Oct. 21, 2021)

³⁷ FERC Κανόνες Διαδικασίας NERC, <https://www.nerc.com/AboutNERC/Pages/Rules-of-Procedure.aspx>

A. Αξιοπιστία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Σύσταση 1^η: Αναθεώρηση των προτύπων αξιοπιστίας NERC:

Σύσταση 1α: Απαίτηση από τους ιδιοκτήτες γεννητριών, ο προσδιορισμός κρίσιμων για το κρύο εξαρτημάτων και συστημάτων για την εκάστοτε μονάδα παραγωγής. Δηλαδή εκείνα που είναι επιρρεπή σε παγετό και τα οποία θα μπορούσαν να προκαλέσουν πτώση, μείωση ισχύος ή αδυναμία εκκίνησης της μονάδας. (Χειμώνας 2023-2024)

Σύσταση 1β: Απαίτηση από τους ιδιοκτήτες γεννητριών, ο προσδιορισμός και η εφαρμογή μέτρων προστασίας από την παγωνιά για τα εξαρτήματα και συστήματα ζωτικής σημασίας της μονάδας. Ακόμη θα πρέπει να εξεταστούν προβλήματα που αντιμετώπισαν οι μονάδες παραγωγής στο παρελθόν και τυχόν μέτρα που είχαν ληφθεί. Σε ένα χρονικό διάστημα που θα καθοριστεί από την Αρχή Εξισορρόπησης (BA), θα πρέπει να αναλύσουν εάν η λίστα των προσδιοριζόμενων παραμένει ακριβής και εάν απαιτούνται πρόσθετα μέτρα προστασίας από τον παγετό. (Χειμώνας 2023-2024)

Από το 2011, έχουν εκδοθεί δύο εκθέσεις προηγούμενων ερευνών σχετικά με φαινόμενα κρύου στα οποία πολλές μονάδες παραγωγής παρουσίασαν διακοπές και αστοχίες εκκίνησης, θέτοντας σε κίνδυνο την απόδοση του BES.³⁸ Η Έκθεση του 2018 διαπίστωσε ότι το Συμβάν «προκλήθηκε από την αδυναμία κατάλληλης προετοιμασίας ή προετοιμασίας των εγκαταστάσεων παραγωγής για χαμηλές θερμοκρασίες».³⁹ Το 2011, η έκθεση διαπίστωσε ότι «πολλοί παραγωγοί απέτυχαν να εφαρμόσουν και να θεσμοθετήσουν επαρκώς τις γνώσεις και τις συστάσεις από προηγούμενα έντονα χειμερινά καιρικά φαινόμενα, ειδικά ως προς τη προετοιμασία της παραγωγής και του βοηθητικού εξοπλισμού των εγκαταστάσεων».⁴⁰ Τόσο οι Εκθέσεις του 2011 όσο και του 2018 εντόπισαν συγκεκριμένο εξοπλισμό που συνέβαλε συχνότερα σε διακοπές λειτουργίας των μονάδων, συμπεριλαμβανομένων γραμμών ανίχνευσης παγωμένων γραμμών, παγωμένων πομπών, παγωμένων βαλβίδων, γραμμών νερού και πάγωμα

³⁸ Έκθεση 2011

³⁹ Έκθεση 2018

⁴⁰ Έκθεση 2011

ανεμογεννητριών.^{41,42} Το Συμβάν (2021) δεν ήταν διαφορετικό – τα προβλήματα παγώματος της ηλεκτρικής παραγωγής ήταν η σημαντικότερη αιτία του Συμβάντος.

Σε απάντηση στο πόρισμα της Έκθεσης του 2018 ότι το ένα τρίτο των GO που συμμετείχαν στην έρευνα δεν διέθεταν ακόμη διατάξεις χειμερινής λειτουργίας μετά από πολλαπλές συστάσεις, η Έκθεση του 2018 συνιστούσε πιθανά νέα ή αναθεωρημένα Πρότυπα Αξιοπιστίας για την αντιμετώπιση της ανάγκης προετοιμασίας των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής. Αυτή η σύσταση οδήγησε στην αναθεώρηση των Προτύπων Αξιοπιστίας (σε ισχύ την 1η Απριλίου 2023).

Σε συνέχεια των παραπάνω, ζητήθηκε ακόμη, προσδιορισμός των κρίσιμων στοιχείων εφαρμογή μέτρων προστασίας για όλα αυτά τα βασικά εξαρτήματα. Αυτά τα εξαρτήματα και συστήματα (συμπεριλαμβανομένων των πτερυγίων ανεμογεννητριών, πομπών, γραμμών ανίχνευσης και οργάνων) ήταν υπεύθυνα για περισσότερες από 68.000 MW διακοπές των μονάδων παραγωγής ERCOT, σχεδόν 27.000 MW σε SPP και πάνω από 21.000 MW στο MISO.

Σύσταση 1γ: Απαίτηση από τους ιδιοκτήτες γεννητριών, η συμπερίληψη των επιπτώσεων χιονόπτωσης και ψυχρού ανέμου κατά την λήψη δεδομένων θερμοκρασίας, με σκοπό την αναθεώρηση του EOP-011-2, R7.3.2⁴³. (Χειμώνας 2023-2024)

Το αναθεωρημένο EOP, σε ισχύ από την 1^η Απριλίου 2023, απαιτεί από τους ιδιοκτήτες να συμπεριλάβουν την κατώτατη θερμοκρασία σχεδιασμού μονάδας, την μέση θερμοκρασία λειτουργίας και την τρέχουσα θερμοκρασία κρύου αέρα στην εξαγωγή, όπως προσδιορίζεται από μηχανική ανάλυση. Επίσης είναι φλέγον το ζήτημα της κατανόησης του βαθμού επιρροής της χιονόπτωσης στον βαθμό απόδοσης των μονάδων παραγωγής. Η παγωμένη βροχόπτωση μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα πάγους που επηρεάζουν τον εξοπλισμό, για παράδειγμα συσσώρευση πάγου σε πτερύγια ανεμογεννητριών, φίλτρα εισόδου αέρα και αεραγωγούς.

⁴¹ Έκθεση 2011

⁴² Έκθεση 2018

⁴³ FERC ¶ 61.119 (2021)

Για το 81 % των μονάδων παραγωγής ήταν εκτός λειτουργίας τη στιγμή που σημειώθηκε η διακοπή και οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος ήταν πάνω από τα δηλωθέντα κριτήρια σχεδιασμού. Ενώ οι μισές από τις μονάδες παραγωγής παρουσίασαν ελάχιστη θερμοκρασία κάτω από τα κριτήρια σχεδιασμού κατά τη διάρκεια του συμβάντος, οι άλλες μισές δεν παρουσίασαν θερμοκρασίες κάτω από τα κριτήρια σχεδιασμού θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Αυτός ο βασικός παράγοντας θα οδηγήσει στην τροποποίηση του EOP-011-2, R7.3.2, με σκοπό την απαίτηση εξέτασης της επιρροής του ψυχρού ανέμου και του χιονιού στην λειτουργία των μονάδων παραγωγής.

Σύσταση 1δ: Απαιτείται από τους ιδιοκτήτες γεννητριών που αντιμετωπίζουν διακοπές, αστοχίες εκκίνησης ή υποβαθμίσεις λόγω παγωνιάς, να επανεξετάσουν τη διακοπή λειτουργίας της μονάδας παραγωγής, την αποτυχία εκκίνησης ή να εφαρμόσουν ένα σχέδιο διορθωτικής δράσης (CAP) για τον εξοπλισμό και να αξιολογήσουν εάν ισχύει και για παρόμοιο εξοπλισμό της μονάδες παραγωγής τους. Σύμφωνα με αυτήν την αξιολόγηση, ο κάθε ιδιοκτήτης οφείλει να επανεξετάσει το σχέδιο ετοιμότητας για καταστροφές και θα αναφέρει τους λόγους αναθεώρησης. (Χειμώνας 2022-2023)

Η Έκθεση του 2011 συνιστούσε ότι «στο τέλος του χειμώνα, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί ένας επιπλέον κύκλος επιθεωρήσεων και δοκιμών ώστε να γίνει αξιολόγηση της απόδοσης της αντιψυκτικής προστασίας και να εντοπιστούν πιθανές βελτιώσεις, απαιτούμενη συντήρηση ή αντικατάσταση εξαρτημάτων προστασίας για την επόμενη χειμερινή περίοδο»⁴⁴ Η κατευθυντήρια γραμμή αξιοπιστίας του NERC συνιστά ότι «μετά από ένα σοβαρό καιρικό συμβάν, οι φορείς θα πρέπει να χρησιμοποιήσουν μια επίσημη διαδικασία αναθεώρησης για να καθορίσουν ποια στοιχεία του προγράμματος λειτούργησαν και τι χρειάζεται βελτίωση.»⁴⁵ Σύμφωνα με το NERC, «2014 Polar Vortex Review» οι φορείς οφείλουν να συνεχίσουν να συμμορφώνονται με τις οδηγίες αξιοπιστίας του δικτύου.⁴⁶

⁴⁴ Έκθεση 2011

⁴⁵ <https://www.nerc.com/comm>

(/RSTC_Reliability_Guidelines/Reliability_Guideline_Generating_Unit_Winter_Weather_Readiness_v3_Final.pdf#sear ch=reliability%20guidelines

⁴⁶ Polar Vortex Review

Σύσταση 2: Θα πρέπει να προβλέπεται αποζημίωση του κόστους βελτίωσης των μονάδων παραγωγής (λειτουργία σε προκαθορισμένες θερμοκρασίες περιβάλλοντος και δυσμενείς καιρικές συνθήκες). Οι ισχύοντες φορείς της αγοράς ή/και οι επιτροπές κοινής ωφέλειας θα πρέπει να προσδιορίσουν τον καλύτερο τρόπο για να διασφαλίσουν ότι οι Ιδιοκτήτες θα έχουν την ευκαιρία να αποζημιωθούν για την υλοποίηση αυτών των επενδύσεων υποδομής. (Χειμώνας 2022-2023)

Το 2011 είχε αναφερθεί ότι όταν κατασκευάζονται νέες μονάδες παραγωγής, αυτές θα πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να λειτουργούν στις χαμηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Εκείνη την εποχή, οι GO αντιστάθηκαν στην εφαρμογή αυτών και άλλων συστάσεων, αμφισβητώντας πώς θα ανακτούσαν το κόστος αυτών των βελτιώσεων και οι φορείς της αγοράς αναγνώρισε ότι οι παραγωγοί μπορεί να χρειαζόταν αποζημίωση για το πρόσθετο αυτό κόστος.

Τον Απρίλιο του εξετάστηκε η ανάλυση Αξίας Απολεσθέντος Φορτίου (VOLL) ως αποτέλεσμα του Συμβάντος. Υπολογίστηκε το συνολικό VOLL για το συμβάν σε 4,3 δισεκατομμύρια δολάρια (συντηρητικό σε σύγκριση με ορισμένες από τις άλλες εκτιμήσεις ζημιών συμβάντων που αναφέρονται από την Fed του Ντάλας—π.χ. 10 έως 20 δισεκατομμύρια δολάρια κόστος ασφάλισης, 80 έως 130 δισεκατομμύρια δολάρια άμεσων και έμμεσων δαπανών). Αλλά ακόμη και χρησιμοποιώντας μόνο την εικόνα VOLL, αυτοί οι υπολογισμοί δεν δίνουν, και δεν μπορούν, να δώσουν ακριβή αξία στις χαμένες ζωές. Αυτό φυσικά δεν σημαίνει σύσταση για αύξηση των τιμολογίων αγοράς ενέργειας ή προσαυξήσεις στους τρέχοντες λογαριασμούς.

Σύσταση 3: Στο μεσοδιάστημα πριν οι αναθεωρήσεις των Προτύπων Αξιοπιστίας να τεθούν σε ισχύ, η FERC, η NERC και οι περιφερειακοί φορείς θα πρέπει να συζητήσουν πώς θα βελτιωθεί η ετοιμότητα των μονάδων παραγωγής. (Χειμώνας 2022-2023)

Σύμφωνα με τα νέα δεδομένα (EOP-011, IRO-010 και TOP-003) ζητήθηκε από τους ιδιοκτήτες γεννητριών η ανάπτυξη σχεδίων ετοιμότητας για ακραίες καιρικές συνθήκες. Αυτά θα πρέπει υποχρεωτικά να εμπεριέχουν μέτρα προστασίας κατά του παγετού, ετήσιες επιθεωρήσεις και συντήρηση των μέσων προστασίας. Ωστόσο, αυτές οι βελτιώσεις δεν θα τεθούν σε ισχύ πριν από το χειμώνα του 2023/2024. Στους δύο χειμώνες πριν τεθούν σε ισχύ, παραμένει ο κίνδυνος ενός άλλου σοβαρού συμβάντος

που θα μπορούσε να μειώσει ξανά την ισχύ των μονάδων παραγωγής.⁴⁷ Αυτή η βασική σύσταση παροτρύνει Η ομάδα ενθαρρύνει επίσης σθεναρά τους GO να εφαρμόσουν οικειοθελώς τις αναθεωρήσεις των Προτύπων Αξιοπιστίας πριν από την ημερομηνία έναρξης ισχύος τους.

Σύσταση 4: Στο ακόλουθο EOP-011-2, R7,⁴⁸ τα σχέδια των ιδιοκτητών γεννητριών θα πρέπει να καθορίζουν χρόνους για την εκτέλεση επιθεώρησης και συντήρησης μέτρων προστασίας από παγετό, συμπεριλαμβανομένων τουλάχιστον των ακόλουθων χρόνων: (1) πριν από τη χειμερινή περίοδο, (2) κατά τη χειμερινή περίοδο και (3) πριν από το συμβάν. (Χειμώνας 2022-2023)

Παρά τις απαιτήσεις αυτές, περίπου το 82 % των GO που υπέβαλαν δήλωση προετοιμασίας για το χειμώνα στην ERCOT είχαν τουλάχιστον μία μονάδα παραγωγής με απρογραμματίστη διακοπή ή υποβαθμίστηκε λόγω προβλημάτων παγώματος κατά τη διάρκεια του συμβάντος. Μια αδυναμία της προσέγγισης ERCOT είναι ότι δεν υπάρχουν ελάχιστες απαιτήσεις για τα σχέδια προετοιμασίας ούτε κάποια προθεσμία μέχρι την οποία θα πρέπει να έχουν ολοκληρωθεί. Η βασική σύσταση 4 αναγνωρίζει ένα στοιχείο που παρατηρείται συχνά σε ισχυρά σχέδια χειμερινής λειτουργίας: πολλαπλές επιθεωρήσεις και συχνή συντήρηση των μέτρων προστασίας μετά την εγκατάστασή τους. Τουλάχιστον, η βασική σύσταση 4 θα έπρεπε να απαιτούσε την επιθεώρηση των μέτρων προστασίας πριν από τη χειμερινή περίοδο, κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου ίσως και μηνιαία» και πριν από ένα κρίσιμο συμβάν.

B. Υποδομή φυσικού αερίου Αξιοπιστία για κρύο και κοινή ετοιμότητα με ηλεκτρικό σύστημα

Σύσταση 5: Το Κογκρέσο, τα κρατικά νομοθετικά σώματα και οι ρυθμιστικοί φορείς με δικαιοδοσία στις εγκαταστάσεις υποδομής φυσικού αερίου θα πρέπει να απαιτούν από αυτές να εφαρμόζουν και να διατηρούν σχέδια ετοιμότητας για κρύο, συμπεριλαμβανομένων μέτρων προετοιμασίας για λειτουργία όταν προβλέπονται ακραία καιρικά φαινόμενα. (Χειμώνας 2022-2023)

⁴⁷ Judah Cohen et al., Σύνδεση της μεταβλητότητας και της αλλαγής της Αρκτικής με τον ακραίο χειμώνα στις Ηνωμένες Πολιτείες, 373 Sci. 1116, 1120 (2021) (science.org)

⁴⁸ Παραγγελία Έγκριση Προτύπων Αξιοπιστίας Ψυχρού Καιρού, 176 FERC ¶ 61.119 (2021).

Σύσταση 6: Ως απόκριση στις χειμερινές καιρικές συνθήκες, η υποδομή φυσικού αερίου θα πρέπει να λάβει μέτρα προστασίας από την παγωνιά καθώς επίσης και μέτρα που σχετίζονται με το κρύο και θα μπορούσαν να επηρεάσουν την παραγωγή, την επεξεργασία και την διανομή φυσικού αερίου. Αυτά τα μέτρα μπορεί να περιλαμβάνουν:

- την εφαρμογή ειδικών μέτρων για την άμεση προστασία ευάλωτων στοιχείων από την παγωνιά, μεταξύ των οποίων
 - χημικές ουσίες καταστολής υδάτων/ενέσεις μεθανόλης,
 - υπογείωση των γραμμών ροής,
 - κάλυψη/στεγάνωση ευαίσθητων εγκαταστάσεων,
 - ανίχνευση θερμότητας
 - εξοπλισμός προσωρινής/μόνιμης θέρμανσης.
- εξασφάλιση της απαραίτητης «στελέχωσης έκτακτης ανάγκης», συμπεριλαμβανομένων των:
 - επάνδρωση βασικών εγκαταστάσεων όλο το εικοσιτετράωρο σε ακραίες συνθήκες,
 - ανακατανομή προσωπικού σε βασικές εγκαταστάσεις
 - αύξηση του προσωπικού στο πεδίο καθώς και στο κέντρο ελέγχου.
- ανάπτυξη προγραμμάτων αμοιβαίας βοήθειας, με τα οποία όμοροι φορείς υποδομής φυσικού αερίου που δεν επηρεάζονται από την ίδια καταιγίδα θα μπορούσαν να προμηθεύουν εξοπλισμό, προμήθειες ή προσωπικό σε φορείς υποδομής φυσικού αερίου που επηρεάζονται.
- αντιμετώπιση θεμάτων που σχετίζονται με την αξιοπιστία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων:
 - επανεξέταση των συμβάσεων παροχής ηλεκτρικής ενέργειας για να οριστεί εάν η εγκατάσταση υποδομής φυσικού αερίου διαθέτει σταθερή ή διακοπτόμενη ηλεκτρική ισχύ (τα κρίσιμα φορτία υποδομής φυσικού αερίου δεν πρέπει να προμηθεύονται διακοπτόμενη ισχύ),
 - εγκατάσταση εφεδρικών αντιγράφων σε κρίσιμες τοποθεσίες
 - λήψη προληπτικών μέτρων για την εξασφάλιση γρήγορης ανάκαμψης σε αιτήματα για περιβαλλοντικές απαλλαγές για εφεδρικές γεννήτριες

- εξασφάλιση επαρκούς αποθέματος κρίσιμων ανταλλακτικών, αναλωσίμων, εξοπλισμού και προμηθειών
- δημιουργία γραμμών επικοινωνίας με παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας, πελάτες και κρατικές ρυθμιστικές αρχές, έτσι ώστε να δημιουργηθούν διασυνδέσεις κατά τη διάρκεια έκτακτης ανάγκης
- ενίσχυση των σχεδίων έκτακτης ανάγκης για την ενσωμάτωση συγκεκριμένων στοιχείων απόκρισης σε ακραίες καιρικές συνθήκες·
- διεξαγωγή εκπαίδευσης και ασκήσεων, συμπεριλαμβανομένων συντονισμένων ασκήσεων με άλλους φορείς υποδομής φυσικού αερίου·
- εξασφάλιση φυσικής πρόσβασης σε βασικές εγκαταστάσεις, συμπεριλαμβανομένων:
 - προτεραιότητα στις δραστηριότητες των οργανισμών για τη διασφάλιση της φυσικής πρόσβασης
 - καθαρισμός δρόμων
 - αλάτισμα δρόμων
 - προετοιμασία μέρους ή του συνόλου του στόλου οχημάτων που χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση κρίσιμων υποδομών φυσικού αερίου
- διαχείριση υγρών κατά τη διάρκεια εκτεταμένων συνθηκών κρύου, συμπεριλαμβανομένων των δεξαμενών αποθήκευσης και αποστράγγισης πριν από μια εκδήλωση
- της προσθήκης πρόσθετων δεξαμενών αποθήκευσης και συστημάτων συλλογής νερού
- αύξηση της χωρητικότητας και της ανθεκτικότητας των συστημάτων διάθεσης αλμυρού νερού(Χειμώνας 2022-2023).

Ενώ στην ιδανική περίπτωση, οι οντότητες υποδομής φυσικού αερίου θα είναι νομικά υποχρεωμένες για ετοιμότητα κρύου, η βασική σύσταση 6 περιλαμβάνει πολλαπλές πρακτικές που μπορούν να εφαρμόσουν εθελοντικά οι φορείς υποδομής φυσικού αερίου. Τα μέτρα που μπορούν να εφαρμοστούν γρήγορα περιλαμβάνουν την απόκτηση εφεδρικών γεννητριών έκτακτης ανάγκης, την αποστράγγιση δεξαμενών αποθήκευσης και την επάνδρωση βασικών εγκαταστάσεων όλο το εικοσιτετράωρο.

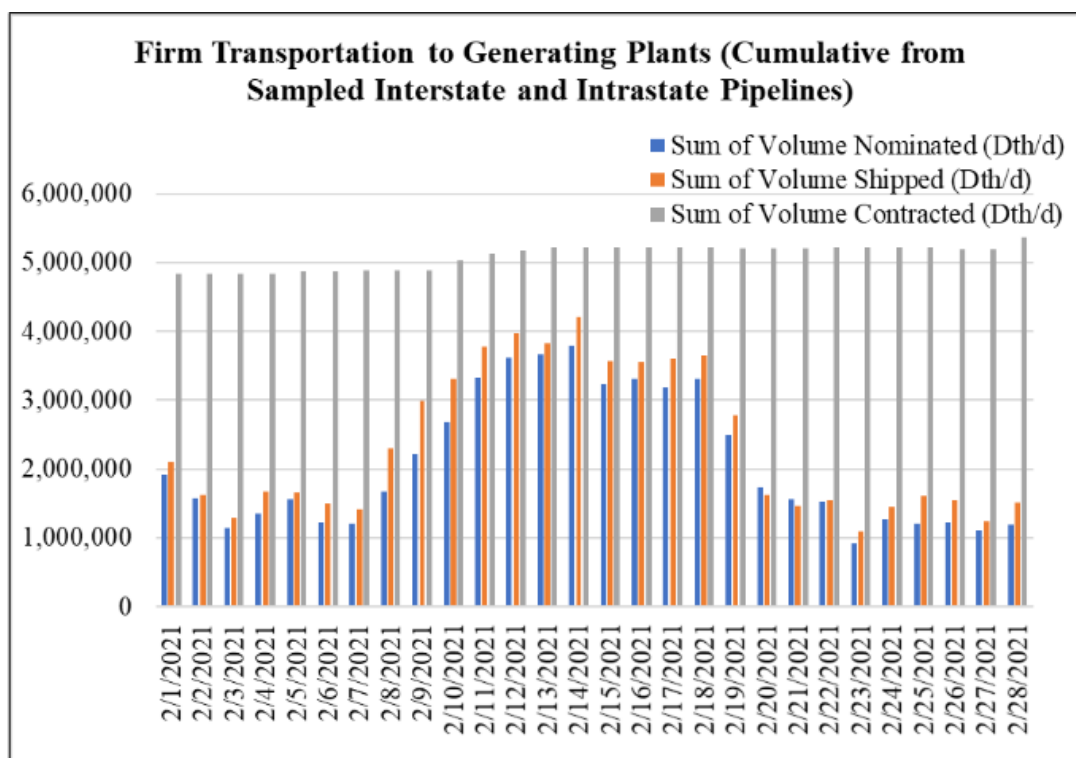
Κατά τη διάρκεια του Γεγονότος, ζητήματα προμήθειας καυσίμου φυσικού αερίου επηρέασαν 357 γεννήτριες στις τρεις περιοχές. 55 %, ή 185 από τις 336 μονάδες παραγωγής με καύση φυσικού αερίου στο αποτύπωμα ERCOT. 40 τοις εκατό ή 31 από τις 77 μονάδες στο MISO South. και 74 %, ή 141 από 191 μονάδες στο αποτύπωμα SPP, όπως φαίνεται παρακάτω.

Πίνακας 9: Ρυθμίσεις μονάδων παραγωγής φυσικού αερίου που αντιμετώπισαν διακοπές σε όλη την περιοχή εμφάνισης του Συμβάντος

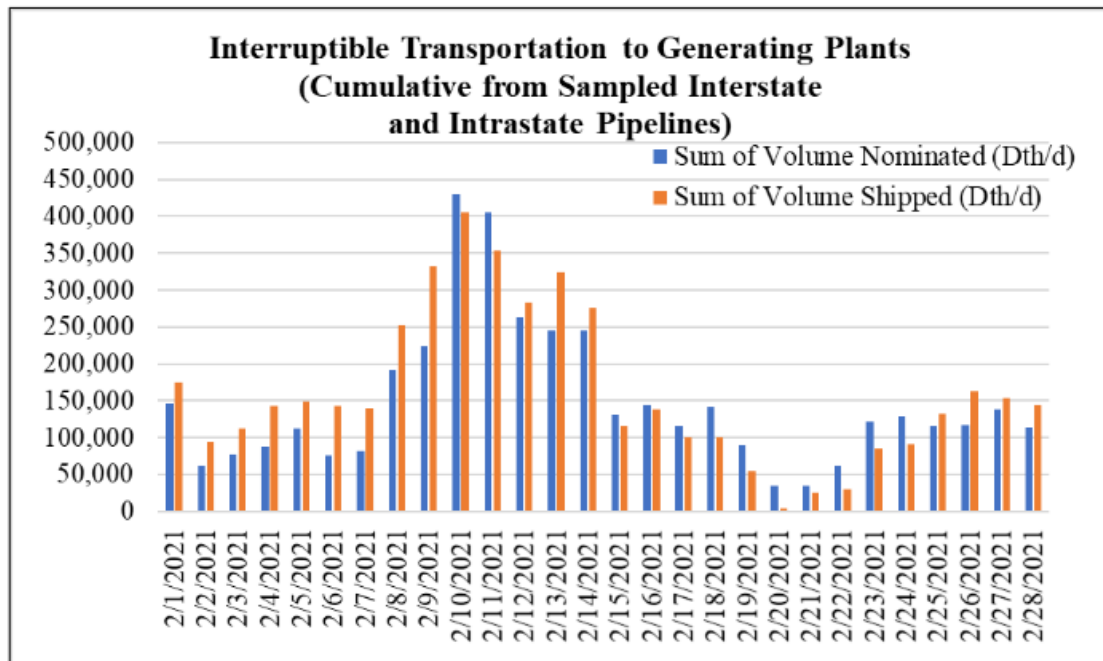
Generating Unit Natural Gas Commodity and Transportation Contracts						
	ERCOT		MISO		SPP	
	Generators	Percent	Generators	Percent	Generators	Percent
Firm Commodity/Firm Transportation	45	24%	10	32%	47	33%
Firm Commodity/Mixed Transportation	14	8%	7	23%	19	13%
Firm Commodity/Non-Firm Transportation	0	0%	0	0%	4	3%
Non-Firm Commodity/Non-Firm Transportation	26	14%	1	3%	24	17%
Non-Firm Commodity/Mixed Transportation	9	5%	0	0%	13	9%
Non-Firm Commodity/Firm Transportation	1	1%	3	10%	14	10%
Mixed Commodity/Mixed Transportation	34	18%	5	16%	0	0%
Mixed Commodity/Firm Transportation	35	19%	0	0%	0	0%
Mixed Commodity/Non-Firm Transportation	0	0%	0	0%	0	0%
Did not provide information re: commodity contract type	10	5%	0	0%	11	8%
No contract or did not provide information about transportation contract type	11	6%	5	16%	9	6%
Total	185	100%	31	100%	141	100%

Η πλειοψηφία των μονάδων παραγωγής φυσικού αερίου που αντιμετώπισαν διακοπές και μειώσεις είχαν ένα μείγμα σταθερών και μη συμβάσεων μεταφοράς ή είχαν συμβάσεις μεταφοράς για τους συμβατικούς όγκους τους. Γενικά, οι μονάδες παραγωγής με καύση φυσικού αερίου δεν συνάπτουν συμβάσεις για τους πλήρεις όγκους φυσικού αερίου που απαιτούνται για να λειτουργούν με τη μέγιστη δυναμικότητα. Συνήθως χρησιμοποιούνται βραχυπρόθεσμες πωλήσεις ή αποθήκευση ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες. Κατά τη διάρκεια του συμβάντος, ορισμένες μονάδες παραγωγής φυσικού αερίου προσπάθησαν να από εναλλακτικές πηγές, αλλά λόγω ελλείψεων παροχής αυτό απέτυχε.

Παρόλο που οι μονάδες παραγωγής με σταθερά συμβόλαια φυσικού αερίου δεν απαλλάσσονταν από διακοπές και μειώσεις, από τις 357 μονάδες τρία αποτυπώματα, μόνο το 29 % είχε σταθερά συμβόλαια μεταφοράς και σταθερά συμβόλαια αερίου για οποιοδήποτε όγκο (ERCOT-45, MISO-10, SPP-47). Η Εικόνα, παρακάτω, δείχνει τη σταθερή ικανότητα μεταφοράς αγωγών φυσικού αερίου που έχει συρρικνωθεί, ημερήσιους όγκους φυσικού αερίου που ορίζονται και ημερήσιους όγκους φυσικού αερίου που αποστέλλονται τελικά. Παρόλο που η Εικόνα δείχνει ότι το φυσικό αέριο που αποστέλλεται σε μονάδες παραγωγής ήταν μικρότερος από τους συμβατικούς όγκους από τις 10 Φεβρουαρίου και κατά την περίοδο του συμβάντος, η πλειονότητα του φυσικού αερίου παραδόθηκε τελικά σε μονάδες παραγωγής φυσικού αερίου. Οι μονάδες παραγωγής φυσικού αερίου με συμβάσεις διακοπτόμενης μεταφοράς εξακολουθούσαν να είναι σε θέση να υποδεικνύουν και να αποστέλλουν μέρος του φυσικού αερίου στο πλαίσιο αυτών των συμβάσεων, αλλά σε μικρότερους όγκους από έναντι των σταθερών συμβάσεων μεταφοράς.



Εικόνα 14: Δυνατότητα σταθερού αγωγού, 1-28 Φεβρουαρίου 2021 από αγωγούς δειγματοληψίας στην Οκλαχόμα, Τέξας, Λουιζιάνα και Κάνσας



Εικόνα 15: Δυνατότητα διακοπής αγωγού, 1-28 Φεβρουαρίου 2021, στους αγωγούς δειγματοληψίας στην Οκλαχόμα, Τέξας, Λουιζιάνα και Κάνσας

Αξιολογώντας τους όρους και τις προϋποθέσεις των συμβάσεων εμπορευμάτων και μεταφοράς που θα ισχύουν κατά τις χειμερινές συνθήκες αιχμής για τις μονάδες παραγωγής με φυσικό αέριο, οι GO μπορούν να κατανοήσουν καλύτερα τους κινδύνους διακοπής του καυσίμου φυσικού αερίου στον στόλο τους. Μπορούν στη συνέχεια να συμπεριλάβουν αυτές τις πληροφορίες για την ενσωμάτωση στις αναλύσεις επιχειρησιακού σχεδιασμού για τις χειμερινές συνθήκες αιχμής.

Γ. Ετοιμότητα Επιχειρήσεων Έκτακτης Ανάγκης Πλέγματος

Βασική σύσταση 1 (h έως j): Τα Πρότυπα Αξιοπιστίας θα πρέπει να αναθεωρηθούν ως εξής:

Βασική σύσταση 1h: Να απαιτείται από τα επιχειρησιακά σχέδια των Αρχών να απαγορεύουν τη χρήση κρίσιμων φορτίων υποδομής φυσικού αερίου⁴⁹. (Χειμώνας 2023-2024)

⁴⁹ Πρότυπο αξιοπιστίας BAL-002-3 - Πρότυπο ελέγχου διαταραχών – Το αποθεματικό έκτακτης ανάγκης για ανάκτηση από ένα συμβάν έκτακτης ανάγκης εξισορρόπησης απαιτεί από τις ΒΑ να έχουν μια διαδικασία λειτουργίας ως μέρος του επιχειρησιακού σχεδίου της για να προετοιμαστούν για να έχουν αποθεματικά έκτακτης ανάγκης ίσα ή μεγαλύτερα από τα πιο σοβαρά της ΒΑ Διατίθεται μεμονωμένο έκτακτο περιστατικό για τη διατήρηση της αξιοπιστίας του συστήματος. Πρότυπο

Βασική σύσταση 1i: Για την προστασία κρίσιμων φορτίων υποδομής φυσικού αερίου από χειροκίνητη και αυτόματη απόρριψη φορτίου:

- Να απαιτείται από τις διατάξεις των Αρχών Εξισορρόπησης και των Διαχειριστών Μεταφοράς να περιλαμβάνουν διαδικασίες για τον εντοπισμό και την προστασία κρίσιμων φορτίων υποδομής φυσικού αερίου στις αντίστοιχες περιοχές τους.
- Να απαιτήσει τις αντίστοιχες διατάξεις και προγράμματα των Αρχών Εξισορρόπησης, των Διαχειριστών Μεταφοράς, για την προστασία των προσδιορισμένων κρίσιμων φορτίων υποδομής φυσικού αερίου μέσα στα ίχνη τους.
- Να απαιτείται από τις οντότητες χειροκίνητης και αυτόματης απορρόφησης φορτίου να χρησιμοποιούν κριτήρια σε φορείς υποδομής φυσικού αερίου που εξυπηρετούν και να ζητούν από τους φορείς υποδομής φυσικού αερίου να προσδιορίζουν τα κρίσιμα φορτία υποδομής.

Δ. Εποχιακή ετοιμότητα πλέγματος

Σύσταση 7: Οι συντονιστές προγραμματισμού θα πρέπει να επανεξετάσουν ορισμένες από τις εισροές στους υπολογισμούς του αποθεματικού ενέργειας τους για τη χειμερινή περίοδο που αναφέρθηκαν δημόσια,⁵⁰ έτσι ώστε τα αναφερόμενα περιθώρια να προβλέπουν καλύτερα τα επίπεδα αποθεματικών ενέργειας που θα μπορούσαν να αντιμετωπίσουν οι Αρχές Εξισορρόπησης κατά τις χειμερινές συνθήκες αιχμής. Οι συντονιστές προγραμματισμού θα πρέπει να επανεξετάσουν τα ακόλουθα στοιχεία των χειμερινών αποθεματικών ενέργειας:

1. ERCOT, SPP, MISO και άλλοι συντονιστές προγραμματισμού και πρόβλεψης φορτίου στις νότιες πολιτείες θα πρέπει να προσαρμόσουν τις προβλέψεις τους ώστε να αντικατοπτρίζουν τα πραγματικά ιστορικά φορτία αιχμής που συνέβησαν κατά τη διάρκεια έντονων καιρικών φαινομένων και να αντικατοπτρίζουν τη δυνατότητα εκθετικής αύξησης φορτίου λόγω της θέρμανσης με ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται στις νότιες πολιτείες.

αξιοπιστίας EOP-011-1 – Οι Λειτουργίες Έκτακτης Ανάγκης απαιτούν από κάθε BA να αναπτύξει, να διατηρήσει και να εφαρμόσει ένα ή περισσότερα επιχειρησιακά σχέδια που έχουν ελεγχθεί από τον.

⁵⁰ https://www.nerc.com/pa/RAPA/ra/Reliability%20Assessments%20DL/NERC_WRA_2020_2021.pdf.

2. Οι συντονιστές προγραμματισμού θα πρέπει να επανεξετάσουν πόση παραγωγή με καύση φυσικού αερίου θα συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς και τις προβλέψεις του αναμενόμενου αποθεματικού για τη χειμερινή περίοδο.
3. Το MISO θα πρέπει να πραγματοποιήσει μια ανάλυση χειμερινής αιχμής για κάθε υποζώνη του για να βελτιώσει την πρόβλεψή του για το χειμερινό φορτίο αιχμής. Το MISO θα πρέπει να χρησιμοποιεί πραγματικά φορτία αιχμής πριν από το χειμώνα στην ανάλυση, αντί για δεδομένα θερινής αιχμής που τροποποιούνται από παράγοντες αβεβαιότητας.
4. Η SPP θα πρέπει να αναπτύξει μια διαδικασία εποχικής πρόβλεψης, όπως αυτές που χρησιμοποιούνται σε άλλες περιοχές, συμπεριλαμβανομένων των MISO και ERCOT. Μάλιστα, η SPP θα πρέπει να εξετάσει τη διαίρεση του αποτυπώματος της, σε βόρειο και νότιο. Αυτός προτείνεται διότι ότι η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας ως μέσο θέρμανσης στις νότιες πολιτείες μπορεί να οδηγήσει σε εκθετικές αυξήσεις του φορτίου. (Χειμώνας 2023-2024)

Οι ERCOT, MISO και SPP υπολόγιζαν περιθώρια χειμερινών αποθεματικών 50%, 49% και 59% αντίστοιχα, στην εποχιακή αξιολόγηση NERC,⁵¹ αλλά εξ ολοκλήρου χρειάστηκαν τελικά για την απόρριψη σταθερού φορτίου τον Φεβρουάριο του 2021. Η πρόβλεψη για το χειμερινό φορτίο ήταν σημαντικά χαμηλότερη από το πραγματικό φορτίο αιχμής. Η SPP θα πρέπει να αναπτύξει ακραία σενάρια πρόβλεψης φορτίου βάσει στατιστικών.

Κατά τις χειμερινές συνθήκες αιχμής, τα καύσιμα για μονάδες παραγωγής με καύση φυσικού αερίου ενδέχεται να ανταγωνίζονται με το φυσικό αέριο για τις ανάγκες θέρμανσης κατοικιών. Ενώ οι τοπικές εταιρείες διανομής που προμηθεύουν φυσικό αέριο για οικιακή θέρμανση έχουν συνήθως σταθερά συμβόλαια, οι μονάδες παραγωγής με φυσικό αέριο συχνά έχουν μη σταθερά ή διακοπτόμενα συμβόλαια. Όταν η διαθεσιμότητα φυσικού αερίου είναι περιορισμένη, οι μονάδες παραγωγής με καύση φυσικού αερίου χωρίς σταθερά συμβόλαια δεν μπορούν να λειτουργήσουν (ή να αποδώσουν στην πλήρη αναμενόμενη ισχύ τους).

Η μεταβλητότητα της αναμενόμενης διαλείπουσας παραγωγής μπορεί να επηρεαστεί περισσότερο από τον άνεμο και την ακτινοβολία. Οι παράγοντες που πρέπει να

⁵¹NERC 2020-2021 Winter Reliability Assessment (Νοέμβριος 2020)

ληφθούν υπόψη περιλαμβάνουν τις συνθήκες χιονόπτωσης (συσσώρευση πάγου και χιονιού).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Το Ενεργειακό Ινστιτούτο του Πανεπιστημίου του Τέξας συγκέντρωσε μια ομάδα ερευνητών για τον εντοπισμό και την εξέταση αξιόπιστων πηγών δεδομένων σε μια προσπάθεια σύνταξης μιας περιγραφή του συμβάντος. Αυτή η ανάλυση θα παράσχει μια λογική βάση για επακόλουθες πολιτικές αποφάσεις που αποσκοπούν στη βελτίωση της απόδοσης και της ανθεκτικότητας των ενεργειακών συστημάτων του κράτους.

Χρονικοί περιορισμοί, περιορισμοί δεδομένων και περιορισμός της ερευνας σε γεγονότα και δεδομένα οδήγησαν στο να μείνουν αναπάντητα τα περισσότερα από τα ερωτήματα.

Ελλείψεις σημειώθηκαν στην χαρτογράφηση της ροής του Φυσικού αερίου. Ακόμη και αν αγνοηθούν οι αστοχίες εξοπλισμού, είναι άγνωστη η ικανότητα του συστήματος φυσικού αερίου του Τέξας, ιδιαίτερα κάτω από αντίξοες καιρικές συνθήκες. Η πλήρης κατανόηση των θέσεων αντιστάθμισης κινδύνου και των συμβατικών συμφωνιών εκτός αγοράς μεταξύ των συμμετεχόντων στην αγορά ERCOT πιθανότατα δεν θα γίνει ποτέ γνωστή δεδομένης της εμπιστευτικότητας που περιβάλλει τέτοιες συμφωνίες. Αυτό δυστυχώς, περιορίζει σημαντικά την κατανόηση των πλήρων οικονομικών συνεπειών του συμβάντος. Εκτιμήσεις για το κόστος προετοιμασίας του συστήματος ενέργειας θα απαιτήσουν περαιτέρω ανάλυση για κάθε τοποθεσία.

Σημειώνεται κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης έρευνας, ψηφίστικαν πολυάριθμα νομοσχέδια, όπως τα νομοσχέδια SB2 και SB3 της Γερουσίας του Τέξας. Αυτά τα νομοσχέδια επικεντρώνονται στη διακυβέρνηση του διαχειριστή του δικτύου και της ρυθμιστικής αρχής. Άλλα νομοσχέδια στη συνεδρίαση του 2021, όπως το Βουλευτικό νομοσχέδιο 4492, επικεντρώνονται στις οικονομικές επιπτώσεις του συμβάντος⁵².

Εν συνεχεία, η έκθεση της NERC και FERC συνέστησε το Κογκρέσο και τα νομοθετικά σώματα των πολιτειών να απαιτούν από τις εγκαταστάσεις φυσικού αερίου να προετοιμάζονται καλύτερα για τον κρύο καιρό.

Το νομοθετικό σώμα του Τέξας έχει ήδη εγκρίνει μια σειρά από νομοσχέδια που στοχεύουν στην απαίτηση από τις εταιρείες φυσικού αερίου και παραγωγής ηλεκτρικής

⁵² Federal Regulatory Energy Commission (August 2011). "Report on Outages and Curtailments During the Southwest Cold Weather Event of February 1-5, 2011" (PDF). North American Electric Reliability Corporation. Retrieved March 1, 2021.

ενέργειας να εφαρμόσουν αυστηρές διατάξεις προστασίας από τον παγετό. Η επιτροπή δημόσιας ωφέλειας ενέκρινε πρόσφατα νέους κανόνες που απαιτούν τη συντήρηση του βασικού εξοπλισμού μαζί με κυρώσεις επιβολής.

Η Επιτροπή Σιδηροδρόμων του Τέξας, η οποία ρυθμίζει τη βιομηχανία φυσικού αερίου, βρίσκεται επίσης στη διαδικασία ανάπτυξης κανόνων για το χειμώνα, αν και οι τελικοί κανόνες έχουν ακόμη μέλλον. Μια νέα επιτροπή για τη χαρτογράφηση κρατικών υποδομών εξετάζει ποια μέρη του συστήματος φυσικού αερίου συνδέονται άμεσα με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Σύμφωνα με την έκθεση FERC και NERC, το ERCOT, θα πρέπει να μελετήσει την προσθήκη περισσότερων διασυνδέσεων της πολιτείας του Τέξας με άλλες πολιτείες. Το δίκτυο του Τέξας έχει μηδαμινές διασυνδέσεις και αυτό είναι ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα του, εάν το χρειαστεί να εκτελέσει μια εκκίνηση έπειτα από ολική σβέση. Αυτό είναι απαραίτητο όταν ένα μεγάλο μέρος του δικτύου έχει κλείσει εντελώς και μια νέα πηγή ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται για επανεκκίνηση του συστήματος⁵³.

Το Τέξας έφτασε σε μια τέτοια κατάσταση τον Φλεβάρη του 2021, καθώς το δίκτυο έμεινε μετέωρο λίγα λεπτά μετά από την ολική σβέση. Η διασύνδεση μεταξύ των δικτύων θα μπορούσε να βοηθήσει και στην παροχή ασφάλειας.

Έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος από τη χειμερινή καταιγίδα και θα συνεχιστούν ενέργειες για την διασφάλιση της αξιοπιστίας του ηλεκτρικού δικτύου», ανέφερε σε ανακοίνωσή του το ERCOT.

Σύμφωνα με την παραπάνω έρευνα, για την καλύτερη προετοιμασία του δικτύου του Τέξας, προτείνονται οι ακόλουθες ενέργειες:

Πρέπει να εξοπλίσουν τις ανεμογεννήτριες και άλλες υποδομές παραγωγής με συστήματα προστασίας από ακραίες συνθήκες.

Ακόμη θα πρέπει να γίνουν επενδύσεις σε πρόσθετες γραμμές DC υψηλής τάσης για τη διασύνδεση με τις ανατολικές και τις δυτικές πολιτείες.

⁵³ Report on Outages and Curtailments during the Southwest Cold Weather Event of February 1-5, 2011 - Causes and Recommendations" FERC. August 2011

Αυτό που απαιτείται είναι ένας ρυθμιστικός σχεδιασμός της αγοράς για την κλιμάκωση της εφαρμογής ανταπόκρισης στη ζήτηση. Οι απαραίτητες τεχνολογίες, όπως έξυπνοι μετρητές στα νοικοκυριά, έχουν ήδη εφαρμοστεί. Χρειάζονται ωστόσο κατάλληλοι μηχανισμοί της αγοράς, όπως η σωστή διαχείριση ζήτησης και η πολιτική βούληση για προώθηση της συλλογικότητας.

Τέλος, όπως ακριβώς έχουν δημιουργηθεί στρατηγικά αποθέματα πετρελαίου, είναι καιρός να δημιουργηθούν και αποθέματα ενέργειας. Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας θα βοηθούσε πολύ κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου.⁵⁴

⁵⁴ "Quick facts" (PDF). www.ercot.com. Retrieved 2021-12-14.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

Andrew Weber, (2021). Texas Winter Storm Toll Goes Up to 210. Including 43 Deaths in Harris County. Houston Public Media (July 14, 2021).

Botkin, Shelly (2021). "Second Order Directing ERCOT to Take Action and Granting Exception to Commission Rules". Public Utility Commission of Texas.

Brooks, Brad, (2021). "Cold, lack of water overwhelm Texas hospitals more than COVID-19 did". Reuters. Reuters.

Community Emergency Preparedness Committee, (2021). City of San Antonio Community Emergency Preparedness Committee Report: A Response to the February 2021 Winter Storm (Jun. 24, 2021).

DiFurio, Dom, (2021). "Texas electricity retailer Griddy hit with \$1 billion lawsuit for 'price gouging' after outages". Dallas News.

Electric Reliability Council of Texas (ERCOT), (2021). Roadmap to Improving Grid Reliability.

ERCOT DC (2020). Tie Operations Document. Έκδοση 3, 31, Ενότητα 1.3

ERCOT Nodal Protocol Revision Request Number 1089 (2021). Nodal Protocol Revision Request (NPRR) 1089.

ERCOT, Έκθεση 2011, σελίδα 78

ERCOT, Έκθεση 2018

February 2022 17, Russell Gold (2022). "The Texas Electric Grid Failure Was a Warm-up". Texas Monthly.

Federal Energy Regulatory Commission. (2011).

Federal Regulatory Energy Commission, (2011). "Report on Outages and Curtailments During the Southwest Cold Weather Event of February 1-5, 2011". North American Electric Reliability Corporation.

Federal Regulatory Energy Commission, (2011). "Report on Outages and Curtailments. During the Southwest Cold Weather Event of February 1-5, 2011".

Garrett Golding et al., Cost of Texas', (2021). Deep Freeze Justifies Weatherization. Dallas Fed Economics (Apr. 15, 2021).

Governor Abbott Gives Update On State Response To Severe Winter Weather, (2021). Power Outages". gov.texas.gov.

Governor Abbott Issues Disaster Declaration, (2021). Continues To Deploy Resources As Severe Winter Weather Impacts Texas". gov.texas.gov.

Ingraham, Christopher, (2021). "Analysis | Hypothermia. Carbon monoxide and cold pets: Google searches underscore depth of crisis in Texas".

Jesse Thompson, (2021). Texas Winter Deep Freeze Broke Refining. Petrochemical Supply Chains, Southwest Economy (Second Quarter 2021)

Judah Cohen et al., (2021). Σύνδεση της μεταβλητότητας και της αλλαγής της Αρκτικής με τον ακραίο χειμώνα στις Ηνωμένες Πολιτείες, 373 Sci. 1116, 1120.

Midcontinent Independent System Operator (MISO), (2021). The February Artic Event: Event Details, Lessons and Implications for Reliability Imperative του MISO.

NERC 2020-2021. Winter Reliability Assessment. Έννοιες Δεδομένων και Υποθέσεις σελίδα 31.

Press Release, FERC, NERC to Open Joint Inquiry into 2021 Cold Weather Grid Operations | Federal Energy Regulatory Commission (Feb. 16, 2021).

Report on Outages and Curtailments during the Southwest Cold Weather Event of February 1-5, 2011 - Causes and Recommendations". Federal Energy Regulatory Commission. August 2011

Report on Outages and Curtailments During the Southwest Cold Weather Event of February 1-5, 2011: Causes and Recommendations (Aug. 2011).

Rulemaking to Establish Electric Weatherization Standards, (2021). Project No. 51840. Order Approving Rule, at p. 86, definition 1 (Oct. 21, 2021).

Senate Bill, (2021). An Act relating to certain curriculum in public schools, including certain instructional requirements and prohibitions". Act of July 16, 2021.

Talal Ansari, (2021). New Winter Storm Threatens Fragile Power Grids in Texas. Other Parts of U.S. The Wall Street Journal New (Feb. 22, 2021)

Texas Officials Warn Of Carbon Monoxide Poisoning, (2021). At Least 17 Deaths Tied to Winter Storm Uri". weather.com.

Winter Storm-Related Deaths, (2021). Texas Department of State Health Services.

Ηλεκτρονική

http://www.ercot.com/content/wcm/lists/219736/ERCOT_Fact_Sheet_2.12.21.pdf

<http://www.ercot.com/services/rq/qs>

<https://www.ferc.gov/sites/default/files/2020-07/OutagesandCurtailmentsDuringtheSouthwestColdWeatherEventofFebruary1-5-2011.pdf>

<https://www.ferc.gov/sites/default/files/2020-07/OutagesandCurtailmentsDuringtheSouthwestColdWeatherEventofFebruary1-52011.pdf>; <https://www.ferc.gov/sites/default/files/2020-07/SouthCentralUnitedStatesColdWeatherBulkElectricSystemEventofJanuary17-2018.pdf>.

<https://www.misoenergy.org/about/media-center/corporate-fact-sheet/>

<https://www.nerc.com/AboutNERC/Pages/Rules-of-Procedure.aspx>.

https://www.nerc.com/comm/RSTC_Reliability_Guidelines/Reliability_Guideline_Generating_Unit_Winter_Weather_Readiness_v3_Final.pdf#search=reliability%20guidelines

https://www.nerc.com/pa/RAPA/ra/Reliability%20Assessments%20DL/NERC_WRA_2020_2021.pdf.

https://www.nerc.com/pa/Stand/Glossary%20of%20Terms/Glossary_of_Terms.pdf

<https://www.spp.org/about-us/fast-facts/>