

Elavbrott i östra USA
och Kanada
14 augusti 2003

Böcker och rapporter utgivna av Statens
energimyndighet kan beställas från
Energimyndighetens förlag.
Orderfax: 016-544 22 59
e-post: forlaget@stem.se

© Statens energimyndighet
Upplaga: 500 ex

ER 5:2004

ISSN 1403-1892

Förord

Ett omfattande elavbrott inträffade den 14 augusti 2003 i Nordamerika. Det drabbade området berör ca 50 miljoner människor. Elavbrottet var av sådan storlek, karaktär och varaktighet att det är intressant studera för att se om det finns några lärdomar att dra för Sveriges del. Energimyndigheten gav ÅF i uppdrag att inhämta och sammanställa information om händelseförloppet samt särskilt behandla följande frågeställningar:

- Troliga orsaker till de initiala störningarna och till utvecklingen av händelsekedjan
- En beskrivning av konsekvenserna
- Vidtagna åtgärder vid de olika tillfällena
- Informationshanteringen, information till berörda inlevnare
- Vilka lärdomar kan dras av händelseförloppet och orsakerna till detta

Denna rapport har utarbetats av ÅF-Energi & Miljö AB. Projektledare har varit Christer Björklund. ÅF svarar själv för analyser och slutsatser i denna rapport.

Eskilstuna i mars 2004



Thomas Korsfeldt
Generaldirektör



Andres Muld
Avdelningschef

Innehåll

Sammanfattning	7
Bakgrund och syfte	9
Elnätet i Nordamerika	11
Infrastruktur	12
Organisationsstruktur	13
Federal Energy Regulatory Commission, FERC	15
Myndigheter i Kanada	16
North American Electricity Reliability Council, NERC.....	16
Händelseförloppet	19
Händelser i tidsföljd den 14 augusti	21
Tillbaka till normalläge.....	34
Konsekvenser	39
Möjliga orsaker	43
Sannolika orsaker till strömavbrottet	49
Redan diskuterade förändringar	51
Myndigheters och organisationers åtgärder och information under elavbrottet	53
USA	53
Kanada	56
NERC.....	57
Gemensam kommission om elavbrottet.....	57
Mediabevakning	59
Lärdomar från avbrottet	61
Lärdomar för svensk del	63
Tidigare omfattande strömavbrott	65
Referenser	67

Ordlista	71
Nationella och lokala myndighetsorganisationer, branschorganisationer och begrepp.....	71
Energibolag, nätbolag, regionala nätbolag m fl.....	71
Tekniska termer	72
Bilaga 1: Exempel på tidigare omfattande strömavbrott	73

Sammanfattning

Strömavbrottet, den 14 augusti vid 16:10, kom att visa sig vara det största som hittills drabbat kraftnätet i USA/Kanada. Det drabbade området berör cirka 50 miljoner innevånare. I praktiken drabbades inte alla då vissa områden lyckades etablera så kallad ö-drift. Ö-driften förutsatte fungerande lokal kraftproduktion från exempelvis kraftvärmeanläggningar. Satellitbilder visar att strömavbrottet inte var totalt. Tidiga misstankar om terroristdåd kunde snabbt avfärdas. Omedelbart efter strömavbrottet startade återuppkopplingen så att huvuddelen av alla drabbade hade tillgång till el tidigt på morgonen den 15 augusti.

Det är viktigt att poängtera att nedan redovisade preliminära slutsatser är baserade på tillgängliga uppgifter via media och officiell information från berörda parter kompletterat med personliga kontakter. Den av president Bush och premiärminister Chrétien tillsatta kommissionens slutsatser kommer inte att vara tillgängliga förrän till årsskiftet.

Vid störningar i komplexa system är det i allmänhet flera händelser eller omständigheter (faktorer) som samverkar och leder till störningen. För var och en för sig finns normalt en beredskap att vidta åtgärder som eliminerar, eller åtminstone kraftigt reducerar konsekvenserna.

Avbrottet drabbade i huvudsak åtta delstater i nordöstra USA samt provinsen Ontario i Kanada. I framför allt Ohio och Michigan förefaller organisationen och ansvarsfördelningen mellan olika företag att vara otydlig. Gränserna mellan olika regioners och företags ansvarsområden kommer sannolikt att ingå i förklaringsgrunden för det inträffade.

1992 initierades en avreglering som innebär att handeln med råkraft konkurrensutsätts, liksom överföringen via kraftnätet. Avregleringen ses av många som ett experiment och en orsak till problemen. Avreglering kräver regler för aktörerna både för att den eftersträlvade konkurrensen skall bli en verklighet och för att tillförlitligheten skall bli betryggande. Kraftnätets utveckling från ett lokalt nät med begränsad samverkan med grannar till dagens avreglerade verksamhet med en utvecklad krafthandel med överföring av stora effekter över långa avstånd ställer mycket större krav på såväl nätet som på hur det övervakas. De nya kraven på överföringskapacitet har inte motsvarats av ökade investeringar i kraftnätet.

Den preliminära slutsatsen blir att det krävs ett robustare kraftnät:

- **Investeringar i kapacitet och ny teknik, men även underhåll, har redan nämnts av flera kommentatorer som bidragande orsak till strömavbrottet.**
- **Större krav på samverkan vad gäller drift och övervakning samt klarare gränser för ansvar och befogenheter.**

Ingen konkret enskild händelse har (hittills) identifierats som enskild utlösande orsak till strömavbrottet och det kommer med all sannolikhet inte heller att ske. Det gör att den specifika händelsesekvens som redan redovisats av kommissionen blir av mindre intresse. En annan kombination av initiala händelser hade sannolikt kunnat resultera i ett likartat slutresultat. Frågan om förbrukning av reaktiv effekt inom FirstEnergy's område kommer sannolikt att nämnas som en bidragande orsak liksom vissa avbrott på kraftledningsnätet och stopp av kraftverk.

De preliminära slutsatserna blir att vid sidan av de tekniska händelserna på nätet så kan man se att förklaringarna konvergerar mot situationen i ett antal kontrollrum:

- **Informationssituationen var otillfredsställande och man hade problem med övervakningsprogram. Man förstod inte vad som hände, vilket resulterade i en inaktivitet som till sist ledde till en lavinartad utveckling av strömavbrottet. Sannolikt krävs reservsystem i kontrollrummen.**
- **Krav på regler för driften av regionala nät kommer att ställas.**
- **Frågor rörande personalens kunskaper och träning lär ställas likaså.**

Den tidslinje som presenterats av den gemensamma kommissionen har enligt vår uppfattning begränsat värde för att förklara det storskaliga strömavbrottet den 14 augusti.

Konsekvenserna för samhället i stort är bland annat bortfall av produktion från industrier och störning av andra normala samhällsfunktioner. För innevånarna uppstod stora besvär när exempelvis tunnelbanor och tåg slutade att gå och hissar stannade. Många människor i New York tvingades till milslånga promenader hem till förörterna. Vårt beroende av el demonstrerades även då alla betalningsautomater och kassaapparater slutade att fungera. Mörkläggning av butiker och kontor gjorde fortsatt verksamhet omöjlig.

Bakgrund och syfte

Ett omfattande elavbrott inträffade den 14 augusti 2003 i nordöstra Nordamerika (USA och Kanada). De amerikanska och kanadensiska regeringarna tillsatte omedelbart en gemensam specialkommission (Task Force) under delat ordförandeskap av Secretary of Energy Spencer Abrahams (USA) och Minister of Natural Resources Herb Dhaliwal (Kanada) med uppgift att klarlägga vad som inträffat och vad som kan göras för att förhindra ett upprepande. Elavbrottet var av sådan storlek, karaktär och varaktighet att det är intressant studera för att se om det finns några lärdomar att dra för Sveriges del. Syftet med denna rapport är att inhämta och sammanställa tidig information för att beskriva händelseförloppet den 14 augusti och omständigheterna däromkring. Frågeställningar som behandlas är:

- När och var inträffade elavbrottet?
- Troliga orsaker till de initiala störningarna och till utvecklingen av händelsekedjan
- En beskrivning av konsekvenserna
- Vidtagna åtgärder vid olika tillfällen
- Informationshanteringen, information till berörda innevånare
- Vilka lärdomar drar man av händelseförloppet och orsakerna till detta?
- Vilka lärdomar kan vi dra i Sverige av händelserna?
- Jämförelse med tidigare händelser i Nordamerika

Underlagsmaterial har hämtats från officiella och allmänt tillgängliga källor. Det är nödvändigt att poängtera att när detta skrivs har den tillsatta kommissionens slutrapport ännu inte presenterats. Den faktiska händelseföljden förefaller vara klar sedan några veckor. Däremot har betydelsen av underliggande faktorer fortfarande inte fastlagts slutligt. Förutom tillgängliga rapporter finns modeller och rapporter sammansatta av forskare inom kraftdistribution. Vidare har utskrifter från samtal mellan operatörer inom olika företag publicerats. Pressmeddelanden och artiklar i nyhetsmedia har kompletterats med uppgifter som inhämtats genom personliga kontakter och intervjuer med myndighetsrepresentanter inom Energi-departementet i Washington och Naturresursdepartementet i Ottawa. I USA kontaktades William Parks (Deputy Director in charge of Electricity Reliability, Energy Efficiency, Department of Energy, Washington DC) och i Kanada David Burpee (Director, Renewable and Electrical Energy Division, Energy Resources Branch, Natural Resources Canada, Ottawa). Båda representanterna deltar i den specialistgrupp med deltagare från USA och Kanada som har till uppgift att studera strömavbrottet och söka förklara vad som hände samt föreslå åtgärder mot ett upprepande.

Vidare har strömavbrottet diskuterats med Doctor Jone-Lin Wang, Director, North American Power, Cambridge Energy Research Associates (CERA). CERA har gjort sig kända som förespråkare för behovet av ökad driftsäkerhet inom det nord-

amerikanska kraftnätet. Man har föreslagit olika åtgärder inklusive nätinvesteringar i USA för att öka robustheten i kraftnätet. Man har i tidigare studier visat att storskaliga strömavbrott sannolikt är att vänta. Under det senaste året har CERA bedrivit en omfattande studie som finansierats kollektivt: *Grounded in Reality: Bottlenecks and investment needs in the North American Transmission System*.

Denna rapport har på uppdrag av Energimyndigheten sammanställts av ÅF-Energi & Miljö AB. Projektgruppen har bestått av teknologie doktor Christer Björklund (projektledare) samt civilingenjörerna Håkan Lundberg, Maria Stenkvist och Mikael Toll.

Elnätet i Nordamerika

Den årliga kraftproduktionen i USA uppgår till uppskattningsvis 3900 TWh, till ett värde av cirka 270 miljarder dollar vid ett genomsnittligt pris på cirka 70 dollar per MWh (avser år 2000).

Elkraftproduktionen och -distributionen var fram till 1965 i huvudsak decentraliserad såtillvida att de olika elverken betjänade en lokal marknad, en stad, delar av en delstat eller en delstat. Samverkan mellan olika aktörer var således begränsad och var lokal där den förekom.

Utbyggnaden av det nationella nätet startade efter det storskaliga strömavbrottet 1965. Utbyggnaden innebar en hopkoppling av lokala nät snarare än en utbyggnad av ett nationellt stamnät. Avsikten var att dela på produktionskapaciteten för att minska sårbarheten, inte för att handla med råkraft. Under perioden 1965 till 1992 ökade efterfrågan på elenergi kraftigt i Nordamerika, vilket ledde till stora investeringar i kraftanläggningar samtidigt som betydande investeringar i kraftnätet genomfördes. Leveranser av elkraft mellan delstater blev vanligt förekommande.

I USA påbörjades en avreglering på federal nivå 1992, då kongressen beslutade om en *Energy Policy Act*. Avregleringen gäller råkraftförsäljning mellan kraftproducenter och eldistributörer som säljer till slutkunder, men också överföring via kraftnätet. Däremot omfattades inte slutkundernas möjlighet att köpa sin el från olika energibolag. Detta liksom elpriset mot slutkund handläggs på delstatsnivå. I samband med att avregleringen av elkraftmarknaden påbörjades 1992 bildades nya aktörer som utnyttjade de uppkomna möjligheterna. Syftet med avregleringen var primärt att konkurrensutsätta handeln med råkraft kraftbolag emellan. Detta ledde till överföring av betydligt större effekter över längre avstånd. För att säkerställa konkurrensen har regelverket utformats så att oberoende kraftproducenter får tillgång till kraftnätet. Som ett resultat av dessa strävanden har rena nätbolag¹ bildats. Bolag som ser som sin affärsidé att erbjuda överföringskapacitet. Dessa bolag har inte sällan uppstått genom att kraftbolag sålt av sina kraftnätsdivisioner. Ett resultat av denna utveckling är att utbyggnaden av ny nätkapacitet inte alls motsvarat de ökade överföringarna. En förklaring anses vara att nättaktörerna saknar incitament att öka investeringarna, då man därmed ser sämre möjligheter för sin affärsidé. De som skulle tjäna på en ökad överföringskapacitet är vissa elkraftproducenter och som alltid slutkunderna, men det är inte dessa som primärt har att bära investeringskostnaderna. Det finns således ingen motsvarighet till Svenska Kraftnät i Nordamerika, utan ansvaret för nätet är delat mellan ett stort antal företag.

¹ Med nätbolag avses bolag som äger och/eller driver kraftledningsnät (> 230 kV)

De senaste åren har man investerat i betydande kapacitetstillskott för elkraftproduktion. 200 GW, till 95 procent naturgasbaserad, har tillkommit vilket ökat USAs totala elkraftkapacitet till 950 GW. Det motsvarar en 25 procentig kapacitetsutbyggnad. Samtidigt har investeringarna i kraftnät förblivit mycket låga. Situationen har dock förbättrats något då de nya gaskraftanläggningarna placeras närmare slutförbrukarna [3].

I verkligheten visar det sig att avregleringen resulterat i en oplanerad hybrid mellan reglerad och oreglerad marknad. Nätbolagen har inte drivits för att fungera i ett mycket större regionalt nätverk. Just nu befinner man sig i en situation mellan reglering och avreglering. Företagsledningarna ägnar sig åt att fundera på hur man skall agera för att tjäna pengar under de nya förutsättningarna.

Vissa delstater har gått längre än andra i konkurrensutsättningen. I dag kan uppskattningsvis en tredjedel av konsumenterna i USA välja leverantör av el.

Infrastruktur

Det amerikanska kraftnätet omfattar 260 000 km ledningar (spänningsnivå 230 kV eller högre), som förutom att passera delstatsgränser även binder samman USA med Kanada och Mexiko. Den överförda effekten alstras i uppskattningsvis 6 000 generatorer ägda av cirka 3 000 företag. Kraftnätet kontrolleras från 150 kontrollrum spridda över kontinenten.

Nätet är uppdelat i tre relativt oberoende huvudregioner, så kallade *Interconnections*. Dessa tre nät är uppdelade i ett antal mindre delar, med mer eller mindre goda förbindelser.

- **Eastern Interconnection.** Kraftledningsnät som omfattar 36 delstater i östra och mellersta USA och Kanada. (Följande regionala sammanslutningar ingår: NPCC, MAAC, FRCC, SERC, ECAR, MAIN, MAPP och SPP Power Pools)
- **Western Interconnection.** Omfattar 11 delstater i västra USA och Kanada. (WSCC Power Pools)
- **Texas Interconnection.** (ERCOT Power Pool)

Utnyttjandet av kraftnätet har ökat kraftigt, dels beroende på allmänt ökad ekonomisk tillväxt och ökad efterfrågan på el, dels också på grund av ökad konkurrens mellan marknadsaktörer. Det nät som ursprungligen utformades för att tjäna närliggande lokala energibolag används i dag som en ”superhighway” för regional krafthandel.

Investeringarna i ny nätkapacitet minskade med 0,8 procent per år under perioden 1988 till 1997 (-8 procent) och underhållskostnaderna med 3,3 procent per år (-29 procent). I de senare kostnaderna inräknas trädröjning och underhåll på

ställverk och kraftledningar. Under samma period ökade kraftförbrukningen med 2,4 procent årligen (+27 procent).

En utveckling som skett är att operatörerna i kontrollrummen fått tillgång till modern digital informations- och mätutrustning som möjliggör en noggrannare övervakning liksom att nya effektivare och exaktare brytare installeras. Förbättrad kommunikation mellan kontrollrum gör att man kan koordinera åtgärder effektivare och snabbare [21].

Organisationsstruktur

När komplexiteten hos kraftnätet ökade, liksom kraven på samverkan, slöt sig olika oberoende aktörer samman och bildade *Independent Service Operators* - ISOs. Med den ytterligare ökningen av partihandeln med råkraft och tillkomsten av rena kraftnätbolag har behovet av reglerad samverkan ökat och regionala överföringsorganisationer, *Regional Transmission Organizations* - RTOs, bildats med FERC och NERC som tillskyndare för att säkra tillförlitligheten hos kraftnätet. (Se även kapitlet om FERC och NERC nedan.)

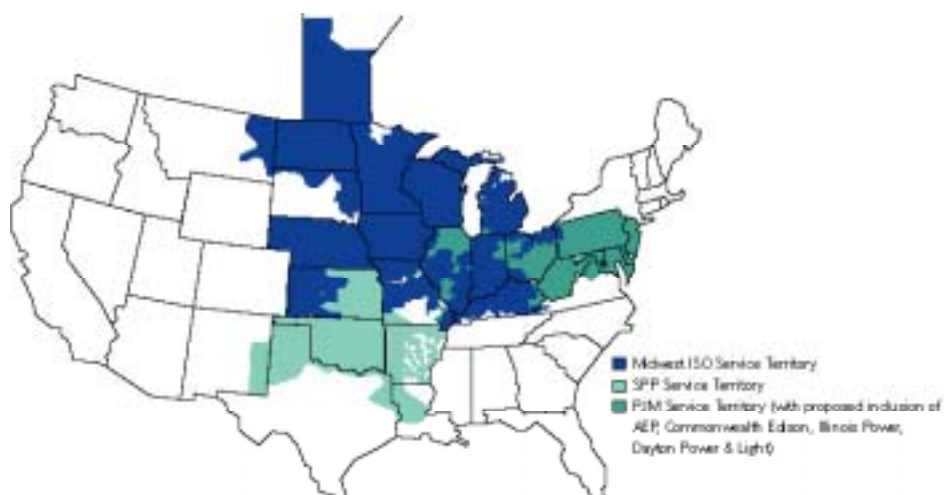
Det råder stora regionala skillnader angående hur långt arbetet med RTO kommit:

- Man startade arbetet med att etablera RTO i Mellanvästern
- I sydstaterna har man inte gjort något
- Nordöstra USA är på väg
- Ohio har "pockets of utilities" vilka inte kommunicerar bra inbördes

Omstruktureringen av kraftdistributionsverksamheten har således kommit olika långt inom de olika regionala sammanslutningarna (RTOs). Nedanstående tabell visar ett antal exempel på ISO eller RTO, hur verksamheten bedrivs samt hur väl man motsvarar kraven på ett RTO.

Ett exempel på komplexiteten hos den regionala strukturen framgår av Figur 1 nedan, som visar den geografiska utbredningen hos *Midwest Independent Service Operator* (Midwest ISO eller kort MISO) och gränserna till några intilliggande ISO eller RTO. Inom MISOs område startade de problem som kom att resultera i det rekordstora strömavbrottet.

ISO/RTO, exempel	Typ av verksamhet	Status
ISO-New England	Ej vinstdrivande	Har fungerat som ISO sedan 1997, uppfyller de flesta kraven på en RTO. Ansöker åter om status som RTO 2003.
New York ISO	Ej vinstdrivande	Har fungerat som ISO sedan 1998, uppfyller de flesta kraven på en RTO, men är ej godkänd som RTO.
PJM Inter-connection LLC	Ej vinstdrivande	Godkänd och fungerande RTO, fungerar som ISO sedan 1997.
California ISO	Ej vinstdrivande	Har fungerat som ISO sedan 1998, uppfyller flera krav på en RTO. Inte formellt godkänd som RTO. Ansökan under behandling.
RTO West	Ej vinstdrivande	Villkorat godkännande men flera detaljer återstår att åtgärda.
WestConnect RTO	Vinstdrivande	Villkorat godkännande men flera detaljer återstår att åtgärda.
SeTrans Grid	Vinstdrivande nät-förvaltare	Villkorat godkännande men flera detaljer återstår att åtgärda.
GridSouth	Vinstdrivande	Villkorat godkännande som RTO men processen har stoppats då medlemmarna kan gå samman med andra RTO.
GridFlorida	Ej vinstdrivande	Villkorat godkännande, men processen har stoppats på grund av delstatsskäl.
Midwest ISO	Ej vinstdrivande	Godkänd och fungerar som RTO sedan 2002, bildades som ISO 1996.
Southwest Power Pool	Ej vinstdrivande	Vill åter ansöka hos FERC för att få RTO status.



Figur 1 Exempel på geografisk utbredning av olika Independent Service Operators och Regional Transmission Organizations (MISO, SPP och JPM) [30].

Federal Energy Regulatory Commission, FERC

Federal Energy Regulatory Commission är en oberoende statlig myndighet med uppgiften att övervaka och reglera partihandeln med råkraft, naturgas och olja mellan delstaterna. Man reglerar även vattenkrafts- och naturgasprojekt. Bland arbetsuppgifterna ingår att:

- Reglera överföring av elkraft och storskalig elkrafthandel över delstatsgränser
- Reglera överföring av och handel med naturgas i gasledningar över delstatsgränser
- Reglera transport av och handel med olja i oljeledningar över delstatsgränser
- Ansvara för licensiering och inspektion av vattenkraftprojekt
- Ansvara för godkännande av lokalisering av och avveckling av naturgasprojekt
- Ha uppsikt över miljöfrågor som hör samman med naturgas- och vattenkraftprojekt liksom policyfrågor rörande elkraft

Man ansvarar vidare för regelverk för redovisning, finansiell rapportering och för hur företag som omfattas av FERCs regelverk sköts.

Däremot har man varken ansvar eller befogenheter för försäljning av el och naturgas till konsumenter. FERC har inte heller något ansvar för teknisk utformning eller att godkänna tekniska anläggningar. Man reglerar inte heller kommunala kraftbolag, federala kraftföretag (som Tennessee Valley Authority) eller de flesta elkraftkooperativ på landsbygden.

FERC har ett uttalat ansvar för att det etableras kundorienterade och konkurrensutsatta marknader för handel med råkraft, i enlighet med FERCs *Standard Market Design and Structure*, SMD. SMD kännetecknas av att sammanslutningar av oberoende aktörer (*Independent Service Operators*) eller regionala kraftöverföringsorganisationer (*Regional Transmission Organizations, RTOs*) bildas för att tillförsäkra att alla oberoende kraftnätbolag skall ha tillgång till en fungerande marknad med sunda partiförsäljningsregler. Trots oenighet och motstånd rörande vissa inslag i SMD så omfattas i dag majoriteten av USA av ISO eller RTO. RTOs bildas skall hänsyn tas till regionala behov och skillnader.

FERCs strävan är att alla operatörer (kraftproducenter, nätbolag eller energibolag som säljer till konsumenter) skall delta i bildandet och aktivt delta i en RTO som uppfyller kommissionens krav. FERC vill skynda på bildandet av RTOs. Dock kan inte FERC i dag tvinga fram ett samarbete enligt sina önskemål genom till exempel vitesföreläggande. Det finns indikationer på att detta kommer att bli obligatoriskt för verksamheter som ligger inom FERCs ansvar. FERCs ordförande har vidare uttalat att han vill se mer distribuerad elkraftproduktion i en framtid [3, 22].

Lagstiftning

Bland tillämpliga lagar med anknytning till FERC:s verksamhet finns Federal Power Act (FPA) från 1935 som bland annat behandlar utbyggnad av vattenkraft, mellanstatliga affärer mellan energibolag och licensieringsprocedurer och som ger delstaterna huvudansvaret för elförsörjningen. Vidare Electric Consumers Protection Act (ECPA) som är ett tillägg till FPA. Genom Public Utility Regulatory Act från 1978 togs de första stegen mot en avreglering genom att oberoende elproducenter fick tillträde till marknaden för råkraft. I Energy Policy Act från 1992 slås fast att handeln med råkraft skall vara konkurrensutsatt.

Myndigheter i Kanada

Independent Electricity Market Operator, IMO, är en icke-vinstdrivande organisation som bildades i samband med avregleringen av elmarknaden, som har till uppgift av övervaka elmarknaden i Ontario, med mål att säkerställa en effektiv konkurrens. IMO:s huvuduppgifter är att:

- ansvara för elöverföringen på nätet mellan producenter, distributörer och elkonsumenter
- övervaka den finansiella utbytet mellan producenter och elkonsumenter

IMO mäter och rapporterar elförbrukning och eltillförsel samt gör prognoser för utveckling av elanvändning och eltillförsel. De har också till uppgift att utvärdera och analysera regler som rör elhandeln.

Regionala Energistyrelser (*Energy boards*) och regeringar i varje provins ansvarar för att ta fram regler för energiförsörjningen i deras provins. Ontarios Energi-styrelse arbetar exempelvis i tätt samarbete med IMO för att reglera Ontarios elmarknad.

The *National Energy Board* är en oberoende statlig myndighet som reglerar flera frågor som rör Kanadas energiindustri. Bland annat reglerar man gas-, olje- och elledningar samt export och import av energiråvaror.

North American Electricity Reliability Council, NERC

En annan central organisation inom elkraftsidan i Nordamerika är North American *Electricity Reliability Council* (NERC). NERC är en frivillig branschsammanlutning som bildades 1968, i vilken såväl amerikanska som kanadensiska företag deltar. Organisatoriskt är medlemskap i NERC uppdelat på tio regionala tillförlitlighetsråd, *Regional Reliability Councils*. NERC:s uppdrag är att tillse att elförsörjningssystemet i Nordamerika är pålitligt, adekvat och säkert.

NERC har etablerat vägledande principer och regler för såväl det operativa arbetet som planeringsarbetet för samverkan mellan olika aktörer (*operating policies* och *planning standards*) för att tillförsäkra att elsystemet fungerar pålitligt.

Existerande principer och regler gäller tills vidare, men kommer att ersättas av regler och rutiner där större vikt läggs vid ökad tillförlitlighet, så kallad *reliability standards*.

NERC:s doktrin för samarbete består således av standarder, krav och råd (*operating policies*). För närvarande läggs ansvaret för driftstillgänglighet på områden (*Control areas*) inom de regionala organisationerna, *Interconnections*. De regionala organisationerna omfattar USA, Kanada och delar av norra Mexiko (Baja California).

Principerna för det operativa arbetet är baserade på förutsättningen att alla områden som förses med elkraft skall ha tillgång till de fördelar som drift av sammankopplade system medför. Genom medlemskapet i NERC skall aktörerna inse behovet av att driva verksamheten på ett sätt som främjar samkörning och inte belasta andra enheter som man är hopkopplad med. Att koppla bort för att skydda sig själv ökar bördan på dem som är kvar.

RTO kommer att ge order till energibolagen att föra över nätinvesteringarna till speciella nätbolag (transfer of transmission assets). På detta sätt bildades ITC genom att Detroit Edison sålde sina nät (till ett bra pris). I Kanada överförde Consumer Power sina högspänningsnät till TransElect. Energibolagen i allmänhet är tveksamma till sälja ut nätdelarna men kan tänka sig att lägga ut det operativa arbetet på en oberoende operatör [3].

NERCs regler lägger fast grundläggande krav för planering av samkörda kraftsystem och definierar pålitligheten i samkörda system i termer av deras förmåga att alltid täcka de sammanlagda elbehoven hos kunderna. Detta skall infrias även med hänsyn tagen till förväntade och rimliga oväntade avbrott hos systemets delar. De samkörda systemen skall kunna tåla plötsliga störningar såsom kortslutningar och oväntade förluster av väsentliga systemdelar (*first contingency*).

NERC utvecklar nya regler för tillförlitlighet som ska ersätta existerande *operating policies* och *planning standards*. Man kommer att exemplifiera de funktioner som måste kunna utföras för att säkra att elleveranserna är pålitliga. Exemplet kommer att utgöra grunden för dessa tillförlitlighetsregler [3, 34].

Det kan vara på sin plats att påpeka att småskaliga avbrott utgör en större del av distributionssystemens problem (oväder, is m m) och att de stora avbrotten endast utgör en mindre del. Exempel på tidigare omfattande avbrott redovisas i bilaga 1.

Marknadsprinciperna går i stort sett ut på att ingen deltagare skall få någon orättvis konkurrensfördel. Inte heller skall någon standard föreskriva eller förbjuda någon specifik marknadsstruktur.

Händelseförloppet

I anslutning till strömavbrottet den 14 augusti berördes huvudsakligen följande aktörer:

ISOs, RTOs, marknadsaktörer samt samordnare för nättillförlitlighet

- Fristående marknadsaktörer i Ontario
- Midwest ISO
- ISO New England
- New York ISO
- PJM Interconnection

Eldistributörer

- AEP
- Cinergy
- DTE Energy
- FirstEnergy
- ConEd med flera

Nätbolag

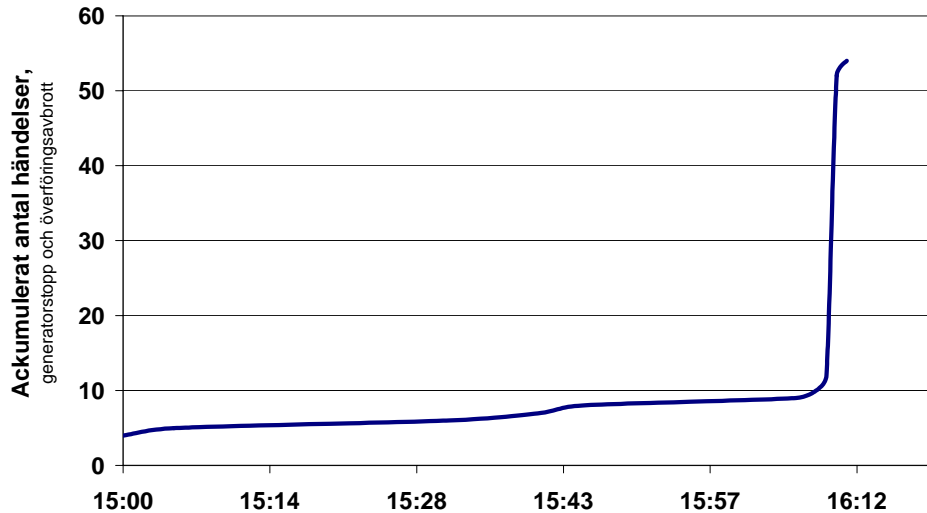
- International Transmission Co. (ITC)
- Michigan Electric Transmission Co. (METC), med flera

Oplanerade händelser inträffar ständigt i ett så komplext system som det nordamerikanska kraftnätet. Vissa är planerade, som avställningar för översyn och reparationer, medan andra framtvings akut på grund av haverier av något slag. I normalfallet är kraftnätet så robust att även akuta och därmed oplanerade händelser kan inträffa utan att kunderna upplever något speciellt. Dock, vid varje händelse blir marginalen beskuren för att klara ytterligare en betydande incident. Det vill säga, inträffar flera incidenter i snabb takt så kan det utlösa en överbelastning av kvarvarande resurser med omedelbart eller fördröjt strömavbrott som resultat. Diskussionen av vad som utlöste avbrottet kan således diskuteras.

Totalt drabbades 55 000 km av det nordamerikanska nätet. Mer än 290 kraftgeneratorer stängdes av. Händelserna den 14 augusti, som de beskrevs i en preliminär rapport daterad den 12 september, innefattar en sekvens av ett sextiotal identifierade händelser för att det stora strömavbrottet skall vara ett faktum. Till en början inträffade händelserna i en takt som borde ha kunnat hanteras, men strax efter klockan fyra på eftermiddagen östkusttid² skenade förloppet och endast enstaka sekunder förflöt mellan olika händelser. Manuella åtgärder var i detta skede helt uteslutna. Man konstaterar att mycket hände redan före klockan tolv på

² EDT, Eastern Daylight savings time

dagen. Bland annat har man konstaterat spänningsfluktuationer och problem med brist på reaktiv effekt.



Figur 2 Tidsförloppet redovisat genom sammanställning av ackumulerat antal händelser enligt den gemensamma kommissionen (generatorstopp och avbrott på överföringsledningar).

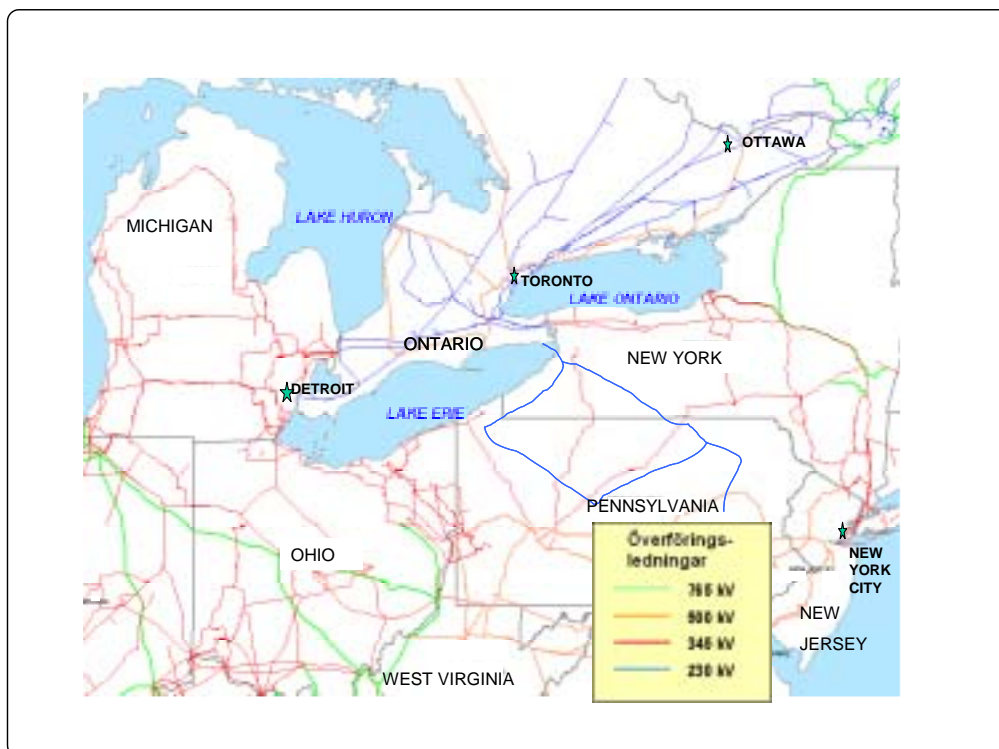
Utöver de fysiska händelser som finns dokumenterade i olika loggar så finns det alltid bakomliggande faktorer som kan ha påverkat förloppet. Till dessa faktorer hör vilka informations- och kommunikationshjälpmedel som stått till operatörernas förfogande och om dessa fungerade som avsett. Andra faktorer rör den ansvariga personalen i berörda kontrollrum. Hade man den utbildning, träning och erfarenhet som krävdes och agerade man rätt? Var man kanske underbemannad under några kritiska ögonblick? Missförstånd eller upptagna telefonlinjer kan likaså ha försenat och därmed omöjliggjort nödvändiga åtgärder. Åtgärder som, om de genomförts, möjligen hade kunnat göra att strömavbrottet inte blev så omfattande eller helt undvikits.

Varje händelse på nätet ger upphov till en notering med en tidsangivelse. Till en början komplicerades arbetet med att analysera vad som skett av att inte alla systemklockor i de många kontrollrummen var synkroniserade. Enbart inom organisationen MISO finns ett tjugotal kontrollrum. De närmaste dagarna efter strömavbrottet publicerade flera organisationer uppgifter om spännings- och frekvensvariationer. Dessa effekter kunde registreras på stora avstånd på grund av störningarnas storlek och kraftnätets omfattning och utsträckning. Dessa grafer visade med all tydlighet att stora saker pågick, men de kunde inte användas för att slå fast när, var och vad som hände förrän tidmarkeringarna kalibrerades. Nedan beskrivs händelseförloppet i enlighet med den gemensamma kommissionens rapport den 12 september [40]. Utöver den officiella tidslinjen så har figurerna kompletterats med bland annat rapporterade uppgifter om vilka effekter som

passerade olika gränssnitt [36, 55, 13, 61, 28]. Det är viktigt att framhålla att händelseförloppet endast kan användas för att ge en allmän förståelse för hur strömavbrottet utvecklades. Däremot är händelseförloppet inte beskrivet tillräckligt detaljerat för att det skall vara möjligt att fullständigt förstå orsakerna till strömavbrottet.

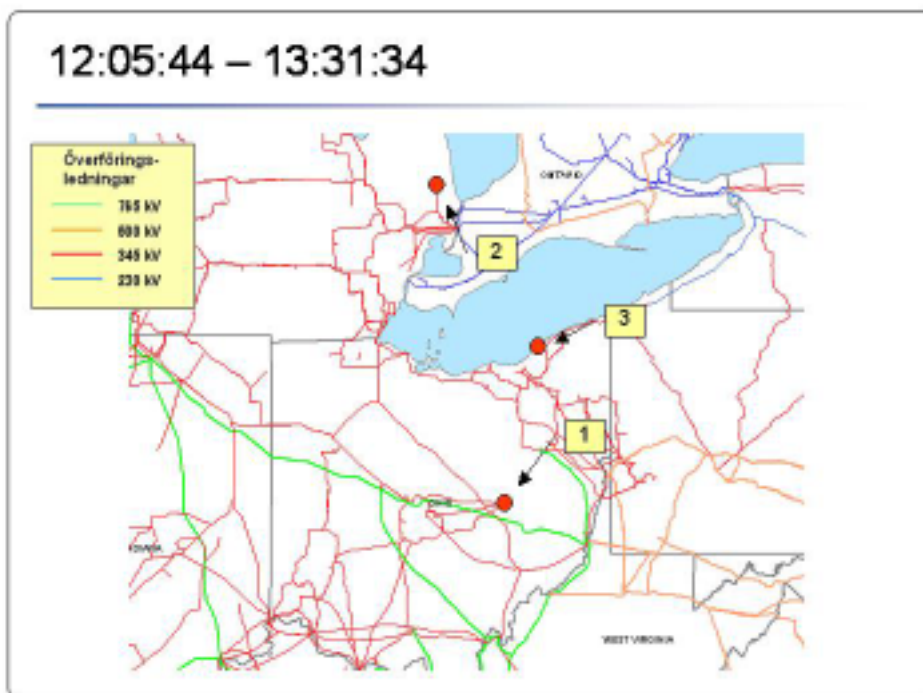
Händelser i tidsföljd den 14 augusti

Nedanstående figur visar det berörda området runt framför allt sjön Erie. På bilden har lagts in överföringsledningar med spänningar på 230 kV eller högre. Även delstatsgränser liksom vissa större städer har markerats.



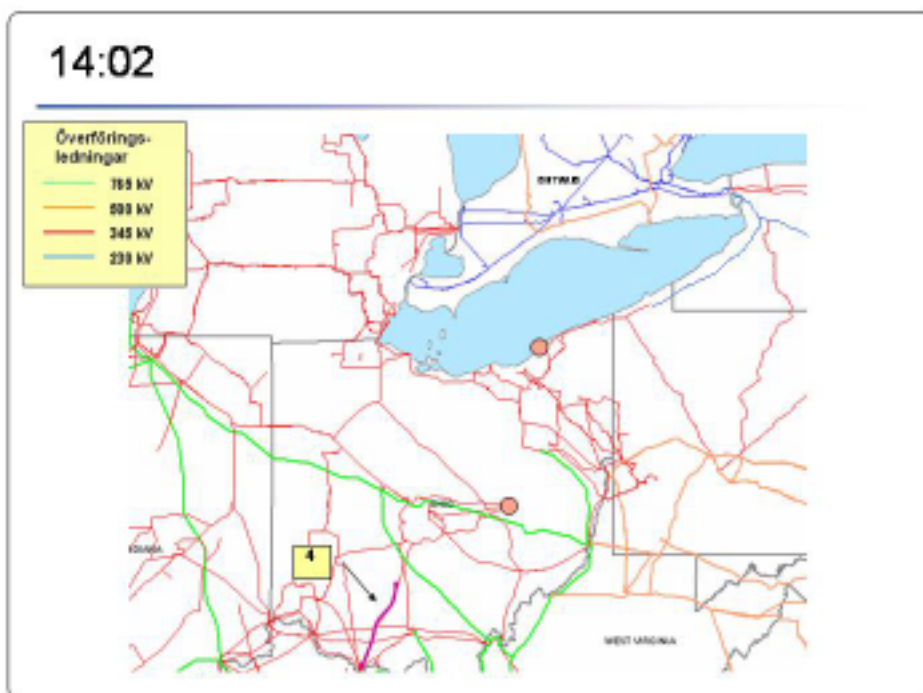
Figur 3 Område som berördes av avbrottet den 14 augusti 2003.

Specialkommissionen har valt att starta redovisningen vid lunch den 14 augusti, trots att det förekommit antydningar om att problem funnits tidigare. På uppdrag av den gemensamma amerikansk-kanadensiska kommissionen har NERC sammanställt den tidslinje som redovisas i dessa kartbilder. Ett tack riktas till NERC för tillstånd att använda de figurerna som beskriver händelseutvecklingen.



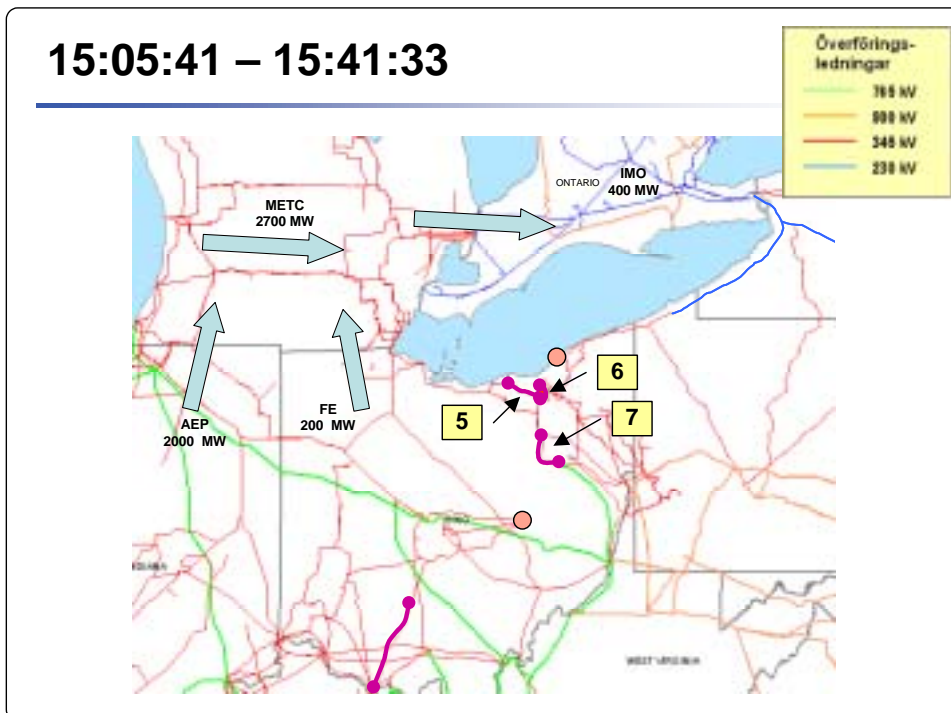
Figur 4 Händelseförloppet mellan 12:05 – 13:31.

12:05 – 13:31 Kraftproduktionen vid tre anläggningar gick förlorad efter lunch: Conesville 5 på 375 MW (1) löste ut, Greenwood 1 på 785 MW (2) löste ut och gick igång igen och FirstEnergy Eastlake 5 (3) på 597 MW löste ut.



Figur 5 Händelseförloppet 14:02.

14:02 Stuart – Atlanta, en 345 kV-ledning (4) som utgör en del av överföringen från sydvästra till norra Ohio, bryter. Anledningen är en brand i buskvegetationen under ledningen. Heta rökgaser kan jonisera luften och orsaka kortslutning.



Figur 6 Händelseförloppet mellan 15:05-15:41.

15:05 Chamberlain – Harding, en 345 kV-ledning (5) bryter, orsak okänd. Detta medför en extra belastning på ledningen Hanna – Juniper, se nedan.

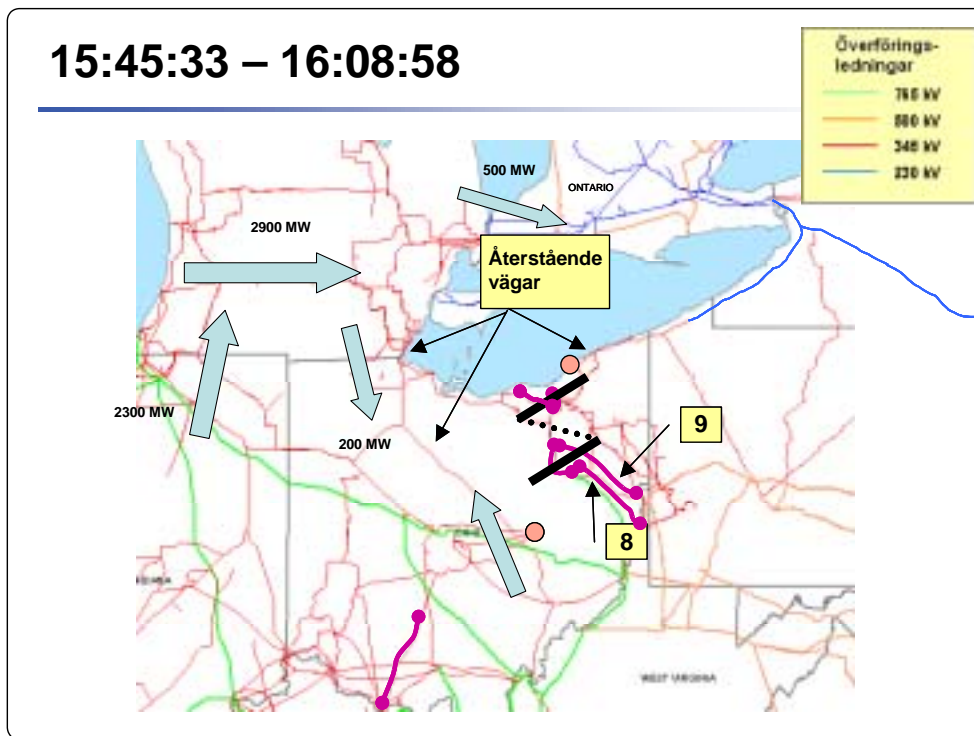
15:32 FirstEnergy's Hanna – Juniper, en 345 kV-ledning (6), utsätts för extra hög effekt. Värmen får ledningen att hänga ner i träden, vilket medför kortslutning och strömmen stängs av av sig självt. Ledningsgatan är sannolikt dåligt röjd.

15:41 FirstEnergy's Star – South Canton, en 345 kV-ledning (7), överbelastas och en brytare i Star-ställverket bryter. Därmed är förbindelsen mellan FirstEnergy's nät och ett nät som tillhör American Electric Power Co, AEP brutet. AEP:s Star-ställverk ligger också i nordöstra Ohio.

Med dessa ledningar bortkopplade reduceras överföringen mellan östra och norra Ohio kraftigt. Strömmen väljer omedelbart andra linjer, inklusive underliggande 138 kV-system som förbinder norra Ohio med det övriga nätet. Dessa andra linjer börjar också bli överbelastade. När spänningen sjunker, kopplas förbrukning på cirka 600 MW bort i norra Ohio från industrikunder och eldistributörer.

Figur 6 visar likaså fyra pilar som beskriver elkraftflödets riktning vid denna tidpunkt. Från FirstEnergy levereras 200 MW till Michigan samtidigt som AEP

levererar 2000 MW till västra Michigan. 2700 MW överförs vidare från västra till östra Michigan varav 400 MW överförs vidare till Ontario.



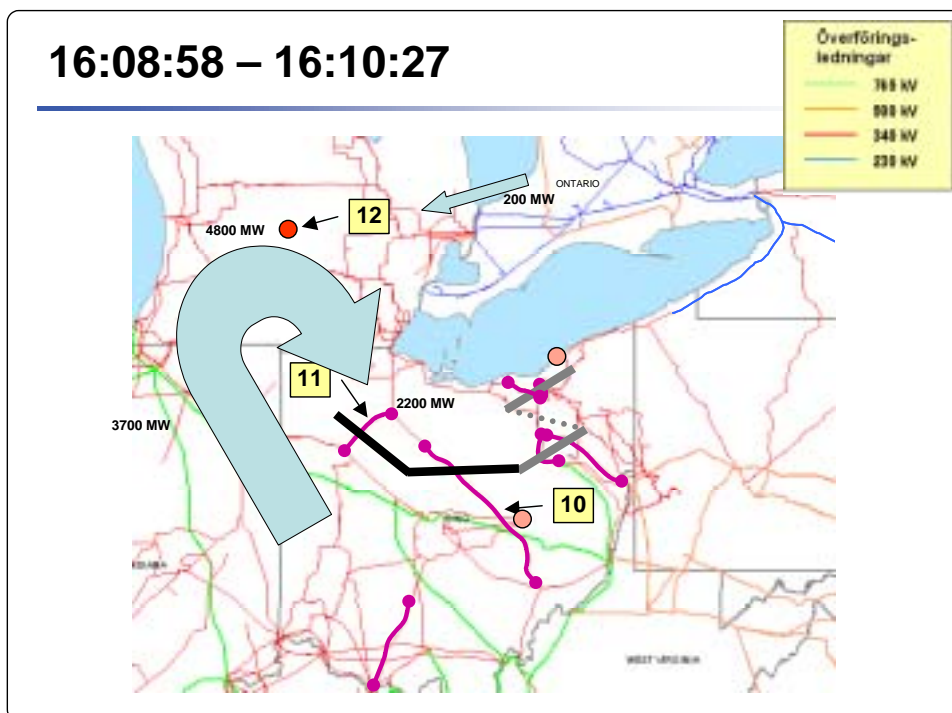
Figur 7 Händelseförloppet mellan 15:45 - 16:09.

15:45 Canton Central – Tidd, en 345 kV-ledning (8), bryter där den ansluter till FirstEnergy:s nät vid AEP:s förbindelse i Canton, Ohio. Den kopplas upp igen 58 sekunder senare, men Canton Centrals 345/138 kV:s transformatorer kopplar ifrån utan att ansluta igen, och isolerar 138 kV-systemet från 345 kV-nätet vid Canton Centrals understation.

16:06 FirstEnergy:s Sammis – Star, en 345 kV-ledning (9), också i nordöstra Ohio, bryter vilket fullständigt blockerar 345 kV-matningen från östra Ohio till norra Ohio. Efter detta finns endast tre vägar för kraft till norra Ohio: från nordöstra Ohio och Pennsylvania runt södra stranden av Lake Erie, från södra Ohio (men den vägen stördes av Stuart – Atlanta-avbrottet kl. 14:02) och från östra Michigan.

15:42 – 16:08 bryter strömmen automatiskt i flera 138 kV-kraftledningar över norra Ohio. Detta ledde till att Akron och områdena västerut och söderut blev strömlösa.

I figur 7 visas även kraftflöden norrut inom Ohio samt från norra Indiana norrut via västra till östra Michigan.



Figur 8 Händelseförloppet mellan 16:08 – 16:10.

16:08 Galion – Ohio Central – Muskingum, en 345 kV-linje (10), bryter.

16:09 East Lima – Fostoria Central, en 345 kV-linje (11), bryter.

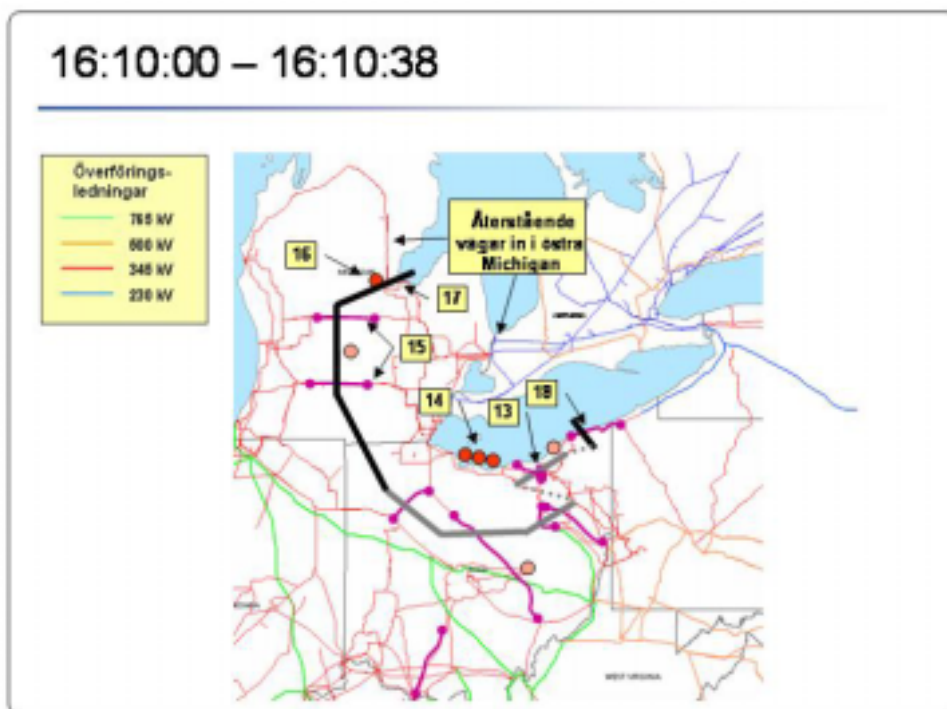
16:09 – 16:10 Kinder Morgan, ett kraftverk (12) som producerar 200 MW, stoppar.

Nu är överföringsvägarna från södra och västra Ohio in till norra Ohio och östra Michigan blockerade. Norra Ohio och östra Michigan är nu anslutna endast med ledningar från:

- nordöstra Ohio och Pennsylvania längs södra stranden av Lake Erie,
- västra Michigan via den väst-östlinje som korsar delstaten och
- en förbindelse från Ontario.

Östra Michigan är anslutet till norra Ohio endast genom tre 345 kV-överföringslinjer nära Lake Eries sydvästra bukt.

Av bilden framgår att stora kraftflöden från Indiana söker sig över de väst-östliga Michiganlinjerna för att täcka behoven i östra Michigan och norra Ohio. Den minskade överföringskapaciteten till lastcentra i norra Ohio gav upphov till en spänningssänkning. Omkring kl. 16:09 registrerades en ökning av nätfrekvensen inom Eastern Interconnection med 0,020–0,027 Hz, vilket motsvarar ett lastbortfall motsvarande omkring 700–950 MW.



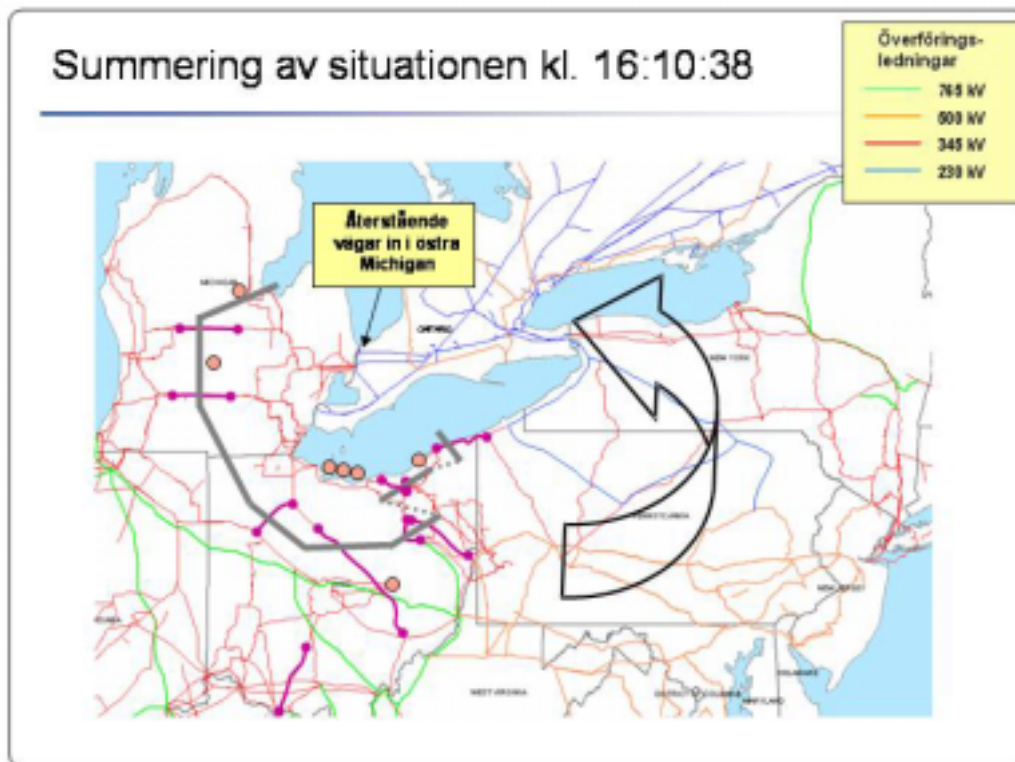
Figur 9 Händelseförloppet 16:10.

16:10 Ett antal överföringslinjer över Michigan och norra Ohio bryter. Elkraftproduktionen bryts i norra Michigan och norra Ohio, och norra Ohio avskiljs från Pennsylvania:

- Harding – Fox, 345 kV (**13**)
- 20 kraftblock längs Lake Erie i norra Ohio (totalt 2174 MW) (**14**)
- väst – öst Michigan, 345 kV (**15**)
- Midland Co-generation Venture, (MCV), (1265 MW) (**16**)
- Överföringssystemet separerar nordvästra delen av Detroit (**17**)
- Perry – Ashtabula – Erie West, 345 kV (**18**)

Att de 20 kraftblocken förlorar anslutningen till nätet innebär att kraftflödena in till norra Ohio och östra Michigan ökar på återstående förbindelser, vilket inkluderar de väst-östliga ledningarna som korsar Michigan. Den väst-östliga 345 kV-förbindelsen bryts 16:10 och lämnar östra Michigan anslutet med endast en rundmatning runt norra Michigan, och som i sin tur bryts en sekund senare, liksom anslutningarna till Ontario och norra Ohio.

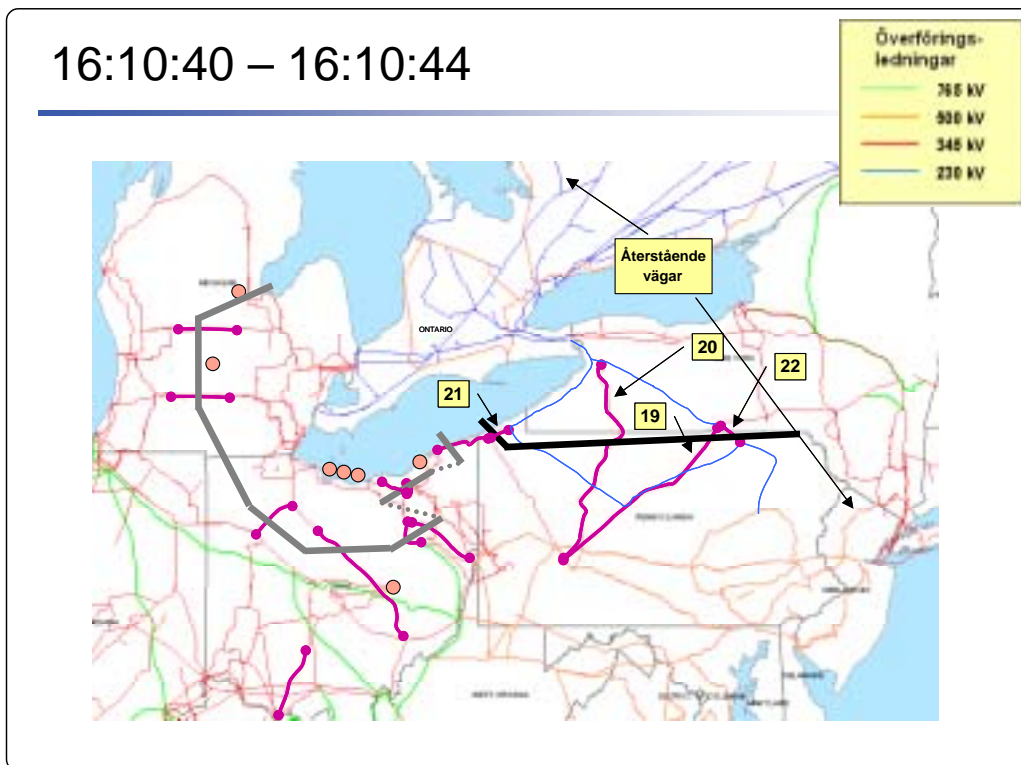
Bortkopplingen av MCV med sina 1265 MW innebär kraftigare flöden på återstående överföringsutrustning, och lämnar östra Michigan och norra Ohio med mycket sänkta spänningar. De återstående förbindelserna med Detroitområdet från nordväst bryts.



Figur 10 Summering av situationen 16:10.

När överföringslinjerna längs södra stranden av Lake Erie kopplas ifrån, kommer den elkraft som flödat längs den södra stranden omedelbart att välja vägen om lake Erie via Niagara Falls och Ontario till Michigan, dvs i en jättelik cirkelbåge motsols från Pennsylvania till New York och vidare mot Ontario och Michigan. Nu överförs plötsligt 2800 MW från New York State och Pennsylvania via Ontario till östra Michigan.

Situationen i Pennsylvania, New York, Ontario, Quebec och kusten framgår av nedanstående bild.



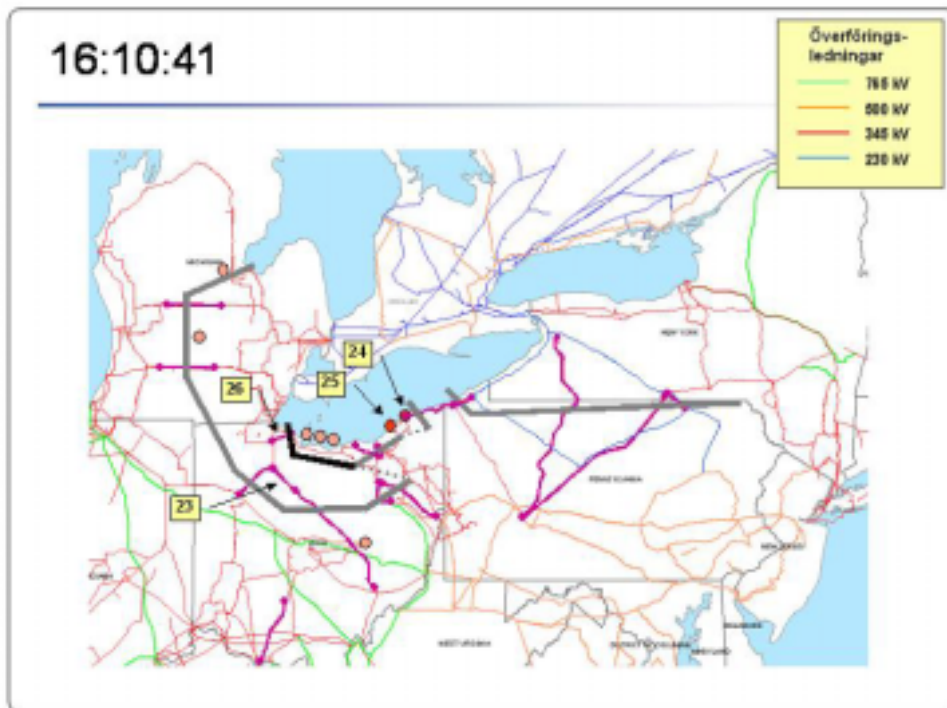
Figur 11 Händelseförloppet 16:10.

Det plötsliga flödet av 2800 MW till nordöstra Michigan får fyra överföringslinjer mellan Pennsylvania och New York att bryta:

- Homer City – Watercure Road, en 345 kV ledning (19)
- Homer City – Stolle Road, en 345 kV ledning (20)
- South Ripley – Dunkirk, en 230 kV ledning (21)
- East Towanda – Hillside, en 230 kV ledning (22)

På grund av den kraftiga efterfrågan på elström norrifrån, bryter dessa fyra förbindelser inom fyra sekunder. Pennsylvania och staten New York är nu separerade längs en öst-västlig linje.

Vid det här laget är den norra delen av Eastern Interconnection ansluten till resten av Eastern Interconnection på endast två ställen: i öster genom anslutningarna mellan New York och New Jersey och i väster via 230 kV-ledningen mellan Ontario, Manitoba och Minnesota. Kraftiga flöden sker norrut över New York – New Jersey.

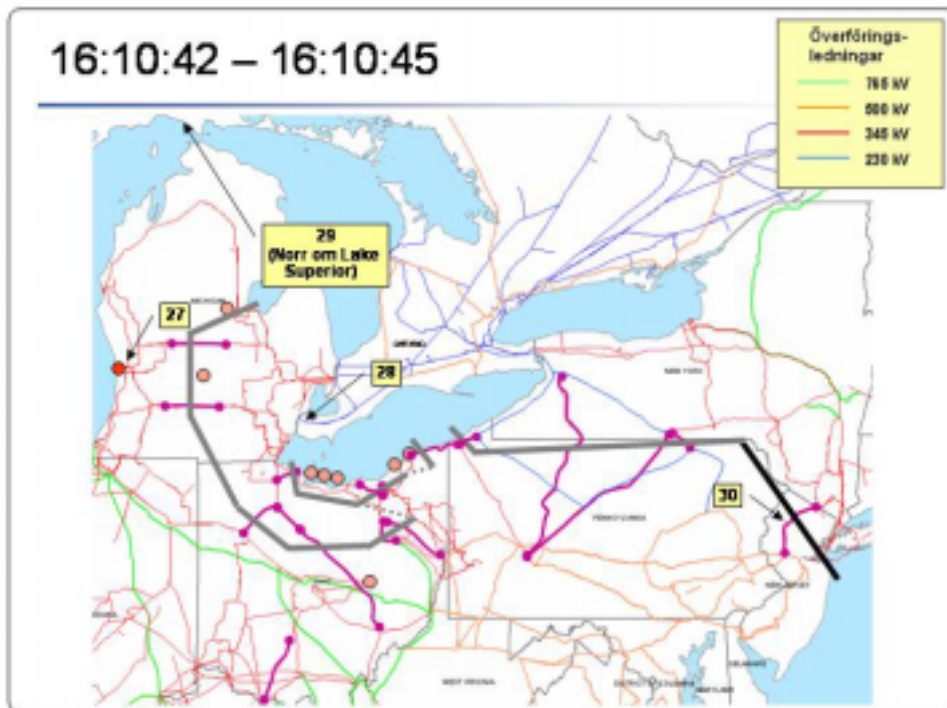


Figur 12 Händelseförloppet 16:10:41.

Två överföringslinjer bryter och två kraftblock stoppar i norra Ohio:

- Fostoria Central – Galion, en 345 kV ledning **(23)**
- Perry 1, ett kärnkraftsblock på 1252 MW **(24)**
- Avon Lake block 9 på 616 MW **(25)**
- Beaver – Davis Besse, en 345 kV ledning **(26)**

När Beaver – Davis Besse ledningen som förbinder Clevelandområdet med Toledoområdet bryter isoleras Clevelandområdet från Eastern Interconnection. Clevelandområdets last kopplar först bort genom automatiskt underfrekvensskydd, och slutligen genom att överföringsledningarna bryter.

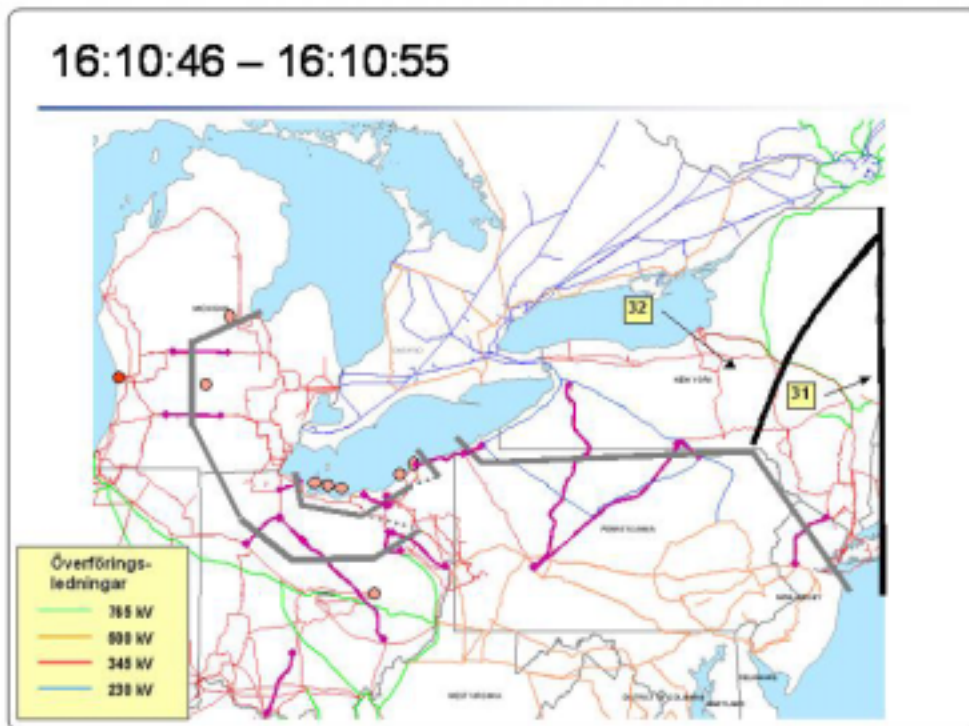


Figur 13 Händelseförloppet mellan 16:10:42 – 16: 10:45.

Överföringsvägarna i norra Ontario och New Jersey bryter och den nordöstra delen av Eastern Interconnection isoleras:

- Campbell block 3 på 820 MW löser ut **(27)**
- Keith – Waterman 230 kV bryter **(28)**
- Wawa – Marathon 230 kV bryter **(29)**
- Branchburg – Ramapo 500 kV bryter **(30)**

Eastern Interconnection splittras i två delar, separerade av en öst-västlig linje. Norr om linjen är New York City, norra New Jersey, New York, New England, kustprovincerna, östra Michigan, större delen av Ontario samt Quebecsystemet. Söder om linjen återfinns resten av Eastern Connect, som inte påverkas av strömavbrottet.

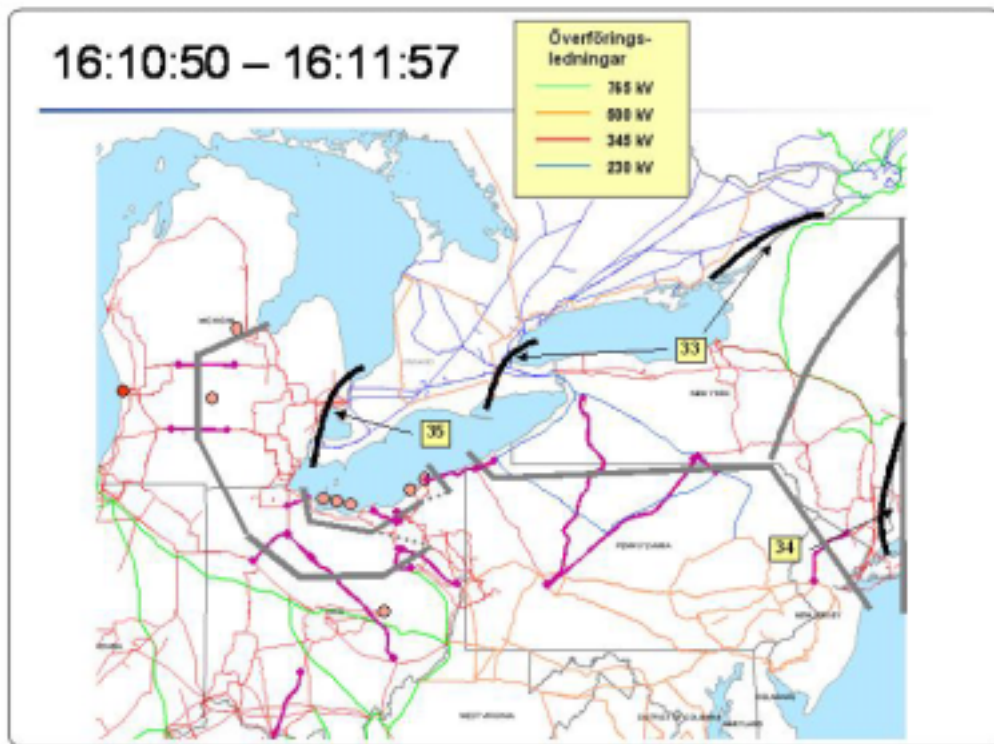


Figur 14 Händelseförloppet mellan 16:10:46 – 16:10:55.

Under de kommande 9 sekunderna splittras kraftnätet i och omkring New York ytterligare:

- New York – New England-överföringarna bryter (31)
- Överföringen inom New York i östvästlig riktning (32) bryter.

New England blir nu en ö. Sydvästra Connecticut är avskuret från New England och förbindelsen med New Yorkområdet bryter inom en minut. Nätet i New York delas utefter en östvästlig linje, med norra New Jersey och sydvästra Connecticut anslutna till den östra delen av New York-nätet. Ontario och östra Michigan är anslutna till den västra delen av New York. Under nästa sekund separeras Ontario och New York, med resultatet att 15 procent av staten New Yorks elkraftbehov automatiskt kopplas bort. Omkring 2500 MW av Ontarios effektbehov kopplas automatiskt bort när Ontario försöker balansera sitt system.



Figur 15 Händelseförloppet mellan 16:10:50 – 16:11:57.

Ontario separerar från New York väster om Niagarafallen och väster om St. Lawrence. Sydvästra Connecticut separerar från New York och blir mörklagt:

- Ontarionätet väster om Niagarafallen och väster om St. Lawrence separerar från New York (33)
- Long Mountain – Plum Tree, en 345 kV-ledning bryter (34)
- Återstående överföringslinjer mellan Ontario och östra Michigan separerar (35)

Separeringen av Ontario och New York 16:10:50 får till resultat att New Yorks och Ontarios stora vattenkraftstationer och värmekraftverk vid Niagara och St. Lawrence, såväl som 765 kV-ledningarna och de högspända likströmsförbindelserna med Quebec, förblir anslutna till New York-nätet. På det sättet möts behovet i norra delen av staten New York och i området söder om Lake Ontario. Tre av överföringskretsarna nära Niagara återansluter automatiskt Ontario till New York kl. 16:10:56. Ytterligare 4 500 MW av Ontarios belastning kopplas bort automatiskt.

Klockan 16:11:10 bryter Niagaraförbindelserna igen. New York och Ontario är åter separerade. De befolkningstäta delarna av Ontario mörkläggs efter denna separering, och 22 500 MW last av totalt 24 000 MW förblir bortkopplade.

Den östra delen av New York City ligger i mörker med endast fickor med strömförsörjning, medan 50 procent av behovet i den västra delen av New York kan tillfredsställas.

När Long Mountain – Plum tree (ansluten till understationen Pleasant Valley i New York) bryter, lämnas sydvästra Connecticut ansluten till New York endast genom den 138 kV-kabel som korsar Long Island sundet. Omkring 500 MW av sydvästra Connecticuts behov kopplas bort av nätautomatiken. Long Island sundkabeln bryter 22 sekunder senare, sydvästra Connecticut blir en ö, som mörkläggs.



Figur 16 Område påverkat av avbrottet 16:13.

16:13 har den större delen av norra sektionen av Eastern Interconnection (området inom den prickade linjen på figuren ovan) mörklagts.

Några isolerade områden med generering och förbrukning kvarstår på nätet i åtskilliga minuter. Inom vissa områden lyckas man hålla en nära balans mellan efterfrågan och kraftgenerering, vilket medför att dessa områden förblir i drift. Andra generatorer löser ut till slut och områdena som de betjänar mörkläggs.

En relativt stor ö med generering och last på omkring 5 700 MW, huvudsakligen i västra New York, blir kvar i drift. Tillförseln kommer från kraftverk söder om Lake Ontario vid Niagara och från överföringarna (765 kV respektive högspänd likström) från Quebec. Den ön utgjorde bas för återställningen i både New York och Ontario.

16:15 Än en gång, FirstEnergys Sammis – Star 345 kV-ledning, i nordöstra Ohio, bryter, och kopplar sedan på igen. (Mellan 16:12 och 16:15 rapporteras avbrott i Cleveland, Toledo, New York City, Albany, Detroit och delar av New Jersey).

16:16 Kärnkraftverket Oyster Creek i Forked River, New Jersey, stoppas automatiskt beroende på svängningar i nätet.

16:17 Kärnkraftverket Enrico Fermi nära Detroit stoppas automatiskt då nätet faller bort.

16:17 – 16:21 Åtskilliga krafttransmissionsledningar i Michigan bryter.

16:25 Kärnkraftverket Indian Point block 2 och 3 i Buchanan, New York, stoppar automatiskt då nätet faller bort.

Strömavbrott rapporteras från alla fem stadsdelarna i New York City och delar av Long Island, Westchester County, New Jersey, Vermont och Connecticut samt det mesta av Ontario inkl. Toronto, Kingston, Sudbury och London.

Bortkoppling av last

Mest påverkades området runt de stora sjöarna: Michigan, Ohio, New York, Ontario, men även Quebec, norra New Jersey, Massachusetts och Connecticut.

När strömavbrottet utvecklats fullt ut vid 16.30-tiden, uppskattas de bortkopplade förbrukningarna från nätet till:

Område	Bortkopplad last [MW]
PJM	4 000
MISO	18 500
HQ	100
IMO	21 000
ISO NE	2 500
NY ISO	24 400
Totalt	61 800

Tillbaka till normalläge

Försöken att starta upp nätdelarna påbörjas omedelbart. Nedan följer exempel på hur återgången till normala driftförhållanden fortlöper [28].

Niagaraområdet i Kanada:

- **16:42** De första kraftledningarna från Niagara spänningssatta med målet att få igång kärnkraftverket Bruce.
- **17:13** Man börjar fasa in de tre tillgängliga Bruceblocken.
- **21:13** De tre tillgängliga Bruceblocken är inne på nätet.

Med kraftmatning ut från Bruce, kunde IMO starta Nanticoke-kraftverket. Därefter återställs linjerna mot följande kraftverk: GTA, Pickering, Lambton och TransAlta – Sarnia. Nätet i området avgränsat av London i väster och Toronto i öster förstärks skyndsamt för att kunna ta hand om kraften från Bruce.

Cornwallområdet i Kanada:

- **17:15** Det första nätet från Cornwallområdet västerut mot kraftverken Pickering, Darlington och Lennox spänningssatta.
- **20:17** Generatorer i Quebec fasas in för att ge ökad stabilitet i nätet.
- **22:37** Med linjen som överfört kraft till Pickering från Niagara upprättas en länk mellan Cornwallområdet och GTA. På det sättet uppstår en ringmatning runt Ontariosjön.
- **18:40** Då överföringen till Darlington återställts börjar arbetet med att återställa överföringen från Cornwall mot Ottawa för att kunna återställa kritiska telekommunikationer.

Chat Falls-området i Kanada:

- **17:15** Chat Falls-kraftverket, nordväst om Ottawa, startas med hjälp av kraft från Quebec. Återställningen i det området inriktas mot Pickering, för att få igång kärnkraftverket i Pickering snabbt.
- **20:21** Efter diverse omkopplingar och med hjälp av ytterligare generatorkapacitet från Quebec, spänningssätts ledningarna från Chat Falls till Pickering. Kraft anländer från Niagara och Chat Falls ungefär samtidigt.
- **21:15** Pickering får spänning från Niagara.

Elektricitet från Chat Falls ansluts slutligen till resten av systemet tidigt på fredagen den 15 augusti.

I nordöstra Kanada fortsatte sju vattenkraftsgeneratorer att producera kraft, men utan att vara anslutna till ön norr om Timmins.

- **19:41** Ett antal generatorer av varierande slag fasas in, och överföringen söderut till Timmins spänningssätts. När tillräckligt mycket last från Timmins-området är återställd, spänningssätts nätet söderut mot Sudburyområdet. Från Sudbury spänningssätts nätet både österut mot lastfickan längs Ottawafloden som klarat ursprungsstörningen och västerut mot Wawa.
- **03:43** Anslutningen mellan det nordöstra området och södra Ontario är klar.
- **05:20** Nordvästra Ontario ansluts till resten av provinsen vid Wawa på fredagsmorgonen.

Viktiga linjer som knyter ihop området med Ohio och New York fungerar igen strax efter midnatt natten mot fredagen i Erieområdet (FirstEnergy East-Penelec). De flesta abonnenterna inom ovan beskrivna områden har ström igen klockan sex på fredagsmorgonen den 15 augusti.

Inom norra New Jersey tas ledningen 5018 Branchburg – Ramapo i bruk igen vid klockan 20 och kopplas in under natten. Majoriteten av abonnenterna har ström klocka sex på fredag morgon. Undantag är en lastficka i norra New Jersey där 138 kV-anordningar och kraftverk kräver återstart [53].

Sammanfattning av läget den 15 augusti

Fredagen den 15 augusti klockan 05:00 är läget beträffande återstart följande [35]:

Område	Återställt [MW]	Återstår att återställa [MW]
PJM	4 000	0
MISO	7 700	10 800
HQ	100	0
IMO	8 500	12 500
ISO NE	2 400	100
NYISO	18 400	6 000
Totalt	41 100	20 700

Klockan 20:00 den 15 augusti har praktiskt taget alla abonnenter i New York City fått tillbaka ström.

FirstEnergy meddelar på fredagen att de avslutat den roterande bortkopplingen inom abonnentområdet för sitt företag dotterföretag Illuminating Co. Bortkopplingen hade initierats tidigare under dagen i samarbete med MISO, för att skydda det regionala nätet. Av de 1,4 miljonerna FirstEnergy-abbonenter i norra Ohio och västra Pennsylvania som påverkades av avbrotten, hade strömmen återkommit till alla utom 4000 abonnenter [26].

Kanada tvingas till roterande fränkoppling även under fredagsnatten.

Situationen den 16 augusti

Lördagen den 16 augusti klockan 11:00 är det stora transmissionssystemet i USA och Kanada återställt och fungerar pålitligt. Många av de stoppade kraftverken är i drift igen och ytterligare produktionsenheter förväntas gå igång under veckoslutet. Praktiskt taget alla elkunder har fått tillbaka strömmen, fastän några kunder fortfarande utstår roterande bortkoppling beroende på den tillgängliga generatorkapaciteten [37]

Situationen den 17 augusti

Söndagen den 17 augusti klockan 17:00 fungerar det elektriska transmissionssystemet pålitligt. Alla transmissionsledningar som togs ur drift under elavbrottet den 14 augusti är åter i drift utom ledningen mellan Michigan och Ontario. Driftsäkerhet är skälet till att den ledningen inte är igång. Av cirka 290 stoppade elgeneratorer är alla utom 21 stycken i drift. Ingen roterande bortkoppling praktiseras längre [38].

Måndagen den 18 augusti var läget åter normalt i USA och samtliga amerikaner kunde återgå till arbetet [18].

I Kanada valde myndigheterna att gå ut med restriktioner för elanvändningen i offentliga byggnader i Ontario även under veckan som följde (18-22 augusti). Statligt anställda i Ontario ombads att så långt möjligt stanna hemma från arbetet den 18 och 19, de offentliga byggnaderna öppnades etappvis och elanvändningen i dessa byggnader begränsades ända fram till den 22 augusti [59]. Först den 25 augusti bedömdes elanvändningen i samtliga byggnader kunna återgå till normalläge igen [60].

Konsekvenser

I nedanstående text belyses några av de konsekvenser som uppstod till följd av det omfattande strömavbrottet i vilket ett hundratal kraftverk, varav 22 stycken kärnkraftverk, stängdes av [61]. Tidigt förekom uppgifter om att 50 miljoner människor blev utan ström. Uppgiften kom bland annat från NERC, som i ett uttalande den 14 augusti uppgav att ”cirka 61 800 MW last förlorades i ett område där 50 miljoner människor bor”. Denna siffra är dock en överskattning av antalet berörda. I själva verket motsvarar 50 miljoner hela befolkningen inom de sex eldistributionsregioner som påverkades av strömavbrottet. Åtskilliga av dessa hade dock kontinuerlig tillgång till elektricitet. I New York-området, med sina 18 miljoner invånare, hade exempelvis nära 20 procent av befolkningen tillgång till el. Hur många människor var då egentligen drabbade? Inga exakta uppgifter finns. En granskning av siffror från de största elföretagen i stater som påverkats av avbrottet indikerar dock att minst 10,5 miljoner kunder³ miste sin elkraft i USA [41].

Människor i berörda regioner påverkades olika mycket, och på olika sätt. Minst två personer dog i New York vid bränder som uppstod efter försök att med hjälp av levande ljus skapa ersättningsbelysning. Totalt förolyckades minst åtta personer på grund av strömavbrottet [61].

Polis och brandkår

I New York mobiliserades 40 000 poliser och stora delar av brandkåren för att upprätthålla ordningen första natten. Generellt fungerade ordningen gott i berörda områden, utan någon ökning av inbrott eller plundringar. Detta har bland annat hävdats bero på den ökade kännedomen bland allmänheten efter terrorattackerna den 11 september om de beredskapsåtgärder och planer som tillkommit [61].

Vatten och avlopp

I några regioner sjönk trycket i vattenledningar då pumpar förlorade sin strömförsörjning. Detta ledde exempelvis till att fyra miljoner vattenkunder i Detroit och Cleveland förlorade dricksvattenförsörjningen och senare fick rådet att koka sitt dricksvatten till den 18 augusti på grund av risk för förorenat vatten [61, 10]. Konsekvensen av brist på rent kranvatten ser dock något annorlunda ut idag än tidigare på grund av den utbredda användningen av buteljerat vatten [4].

Endast minuter efter att New York City förlorade sin elförsörjning, började avloppsvatten läcka ut i omgivande vattendrag. Totalt läckte knappt 2 miljoner kubikmeter ut, vilket ledde till att stränder fick stänga på grund av risken för negativa hälsoeffekter [43].

³ I sammanhanget ska påpekas att elleverantörerna mäter lastförluster i antal räkningsbetalande kunder, hushåll samt företag och inte individer.

Telefon, radio och television

Mobiltelefontrafiken stördes medan de fasta telefonsystemen fungerade relativt intakt i de flesta områden. Dock stördes denna kapacitet av att många försökte ringa. Det är värt att påpeka att sladdlös telefoner avsedda för det markbundna telenätet inte fungerar utan nätanslutning. Det finns således skäl att behålla en vanlig telefon som ej är beroende av nätanslutning. Mobiltelefonernas teckenfönster fick en oplanerad användning som belysning i mörka trappor.

De flesta TV- och radiostationer kunde fortsätta sända tack vare reservkraftaggregat. TVs värde som informationsspridare till berörda medborgare torde vara rätt begränsad när elektriciteten slås ut. För radio förhåller det sig något annorlunda. Den del av befolkningen som hade tillgång till bilradioapparater kunde få tillgång till information denna väg. Däremot föreföll tillgången på batteridrivna radioapparater ha minskat under senare år till förmån för exempelvis portabla CD-spelare utan radiomottagare [61].

Persontransporter

Tågtrafiken påverkades mycket. Exempelvis var Amtraks *Northern corridor railroad service* tvungen att stoppa norr om Philadelphia. Amtraks verksamhet låg även nere i exempelvis delar av Michigan. Alla tåg in och ut ur New York City stoppades. I New York stannade dessutom över 600 tunnelbane- och pendeltåg mellan stationer, och alla passagerare fick evakueras, vilket tog mer än två och en halv timmar [61]. Räddningspersonal i New York City försökte frakta pendlare över Hudsonfloden med färja. Hissar stannade mellan våningar och trafiksignaler slutade fungera. Bilister uppmanades att hålla sig borta från vägarna. Under många timmar var gator, broar och tunnlar belamrade av fordon och gående som försökte lämna Manhattan. Flygtrafiken påverkades och några regionala flygplatser stängdes tillfälligt [61]. En del flygplatser kunde drivas på reservkraft. I New York fick flygningar ställas in även efter att strömmen kommit tillbaka på grund av problem med att komma åt information i elektroniska biljettsystem. Air Canadas flygningar på morgonen den 15 augusti påverkades då tillförlitlig tillgång till elektricitet ännu saknades vid ett flygkontrollcenter i Ontario [61].

Bensinstationer och affärer

Många bensinstationer slutade fungera på grund av att pumpningen var beroende av tillgång till elektricitet. I Michigan utropade guvernör Jennifer Granholm på fredagen den 15 augusti undantagstillstånd i staden Detroit och beordrade nödsändningar med bensin från västra Michigan. Granholm sade att svarhandel förekommit inklusive ockerpriser på is. En studie utförd av motororganisationen AAA Michigan visade att bara fem av 54 bensinstationer i Detroitområdet var öppna. [11] Öppnade bensinstationer tog endast emot kontanter. Affärer tvingades i allmänhet stänga av flera skäl. Säkerheten mot personskador liksom risken för stöld som en konsekvens av mörklaggningen är viktiga aspekter. Dessutom upphörde ofta kassapparaterna att fungera. I Kalifornien tröttnade såväl medborgare

som företag på elproblemen härom året vilket ledde till installation av reservkraft på sina håll.

Bankautomater

Den vanligaste frågan till poliser under avbrottet var: "var finns närmaste fungerande bankomat (ATM)?" En annan vanlig fråga var just "var kan jag köpa bensin?" Sannolikt var behovet av kontanter stort under avbrottet [4].

Produktionsförluster

Inom den drabbade regionen finns en betydande andel av den amerikanska bilindustrin, vilket medförde att tiotusentals anställda drabbades när ett femtiotal bilfabriker och komponenttillverkare tvingades stänga.

Många andra industrier drabbades hårt då produktionen stoppades. Petroleumindustrin påverkades omedelbart. Omkring 700 000 fat/dag i raffineringkapacitet i amerikanska Mellanvästern och Kanada slogs ut. Som ett resultat av dessa produktionsstopp steg råolja- och bensinpriserna tillfälligt [51]. Några industrier drabbades förutom av stopp även av mindre olyckor. Till exempel drabbades ett raffinaderi i närheten av Detroit av en mindre gasexplosion, vilket orsakade en evakuering av närliggande områden och att Interstate 75 stängdes av. I Ontario orsakade strömavbrottet ett oplanerat utsläpp till luft från ett raffinaderi, vilket resulterade i att närboende blev uppmanade att stänga fönster och dörrar [61].

Internationella reaktioner

Avbrottet fick även internationella effekter. I Asien gick exempelvis guldpriset upp något morgonen efter elavbrottet, men sjönk tillbaka igen redan samma dag, när det blev klart att avbrottet inte berodde på en terroristattack [9]. Den effekt som märktes mest utanför Kanada och USA var försenade, inställda eller omdirigerade flygningar [8].

Möjliga orsaker

Den slutliga förklaringen till vad som hände den 14 augusti beräknas inte finnas tillgänglig förrän till årsskiftet. En rad dokumenterade händelser har redovisats tidigare. Specialistgruppen har valt att börja händelsekedjan den 14 augusti klockan 12.05.44 när kraftproduktionen vid Conesville 5 (375 MW) gick förlorad. De enskilda händelserna i början av förloppet förefaller alla vara av den art att de borde ha kunnat hanteras. Enligt de regler för tillförlitlighet som elkraftleverantörerna har att följa skall man ha en åtgärdsplan i händelse att något inträffar (first contingency). Man skall då vidta i förväg planerade åtgärder samt planera för en möjlig ny händelse.

Tidigt publicerade flera aktörer utvald information angående den inträffade händelsen. Det rör sig i allmänhet om utskrifter från övervakningssystem som visar att störningar som spänningsfall och frekvensvariationer kunnat noteras i deras kontrollrum. Dessa fenomen kunde dokumenteras på betydande avstånd från de områden som drabbades av strömavbrottet.

Nedan redovisade korta utdrag speglar olika källors kommentarer och presentationer.

Power Systems Engineering Research Center, PSerc

PSerc är ett samarbetsprojekt mellan 13 universitet och 37 företag, från ABB och Alstom till ett antal energibolag. PSerc publicerade en analys den 5 oktober baserad på data från Specialistkommissionen och uppgifter från olika aktörer, inklusive utskrifter från samtal mellan operatörer i olika kontrollrum samt information från utskottsförhör inom kongressen och representanthuset.

Det förefaller som om viss kontrollrumspersonal missat att se helheten när fel uppstod som sedermera ledde till det rekordstora strömavbrottet. Ett enstaka identifierat fel kan ha tagit större delen av personalens intresse. En bidragande orsak tycks ha varit att MISO drabbats av ett datorproblem. Programmet ”state estimator” som hjälper till att övervaka nätet slutade fungera vid 13-tiden den 14 augusti. Flera timmar före strömavbrottet noterade FirstEnergy att spänningen på deras nät var låg, vilket kan vara ett tecken på otillräcklig reaktiv effekt. Detta trots att FirstEnergy importerade tusentals MW från södra Ohio. Samtidigt exporterade man dock reaktiv effekt till Michigan.

Spänningskollaps

Reaktiv effekt är den del av den totala effekten på kraftnätet som medverkar till att hålla spänningen i nätet på önskad nivå. Reaktiv effekt genereras dels i kraftstationerna, dels även i kondensatorbatterier. Svagt belastade kraftledningar medverkar likaså till att upprätthålla spänningen. Belastningar som motorer däremot konsumerar reaktiv effekt liksom kraftigt belastade kraftledningar. Om spänning

och ström inte ligger i fas (svänger i takt) så krävs en större ström i ledningen för att kunden i slutänden skall få ut den effekt som dess anläggning kräver. Eftersom motståndsförlusterna ökar proportionellt med kvadraten på strömmen så är det viktigt att kompensera för fasförskjutningen. Tillskottet på reaktiv effekt bör skapas så nära förbrukningsplatsen som möjligt. Vidare så ger en högre ström upphov till spänningsfall på nätet. Skulle således behovet av reaktiv effekt vara för högt så leder det till ökade värmeförluster och spänningsfall över nätet. Ett spänningsfall på nätet söker man automatiskt kompensera genom lindningsomkoppling i transformatorerna. Den minskning av belastningen som ett spänningsfall medför kompenseras således bort. Detta kan utgöra en orsak till spänningsskollaps och varför till exempel en ledning löser ut. Kraftnäten är konstruerade så att om situationen hotar fortsatt säker drift på grund av att spännings- eller frekvensavvikelserna är för stora så skall den delen av systemet kopplas bort innan den riskerar att förstöras. Sammanfattningsvis kan man uttrycka situationen på följande vis:

- Om elkraftproduktionen överstiger konsumtionen så stiger frekvensen.
- Om å andra sidan produktionen underskrider konsumtionen så sjunker frekvensen.
- Spänningsfall kan leda till spänningsskollaps
- Förhöjd spänning kan även förekomma som ett resultat av att belastningar kopplats ifrån
- Otillräcklig lokal tillgång på reaktiv effekt kan resultera i spänningsfall och i värsta fall spänningsskollaps.

Drift och övervakning

Utskrifter från konversation mellan operatörer i olika kontrollrum visar att man var konfunderad och att FirstEnergy område var föremål för speciellt intresse. Ännu 15.36 var FirstEnergy osäkra på vad som pågick inom deras område. MISO förefaller ha varit mer oroad och konstaterade att något underligt höll på att hända. 12 minuter senare, klockan 15.48, var PJM och MISO av uppfattningen att två kraftledningar löst ut, medan det i verkligheten rörde sig om åtta.

Till skillnad från strömavbrottet i New York 1965, som utlöstes av en överbelastning som resulterade i lägre frekvens, förefaller problemen denna gång ha sin orsak i en överutnyttning som resulterat i en spänningsskollaps. Den utrustning som installerats efter 1965 för övervakning av frekvensen och som skyddat nätet vid flera tillfällen därefter har inte haft någon verkan i detta fall. Frågan om tillgången på reaktiv effekt inom FirstEnergy område, eller inom nordöstra Michigan, kommer sannolikt att ingå bland de samverkande orsaker som slutligt kommer att slås fast.

PSerc identifierar behov av insatser inom följande huvudområden:

- Nätteknologi
- Drift och planering av nätet
- Policyfrågor
- FoU och utbildning

Med insatser inom området nätteknologi avser man:

- Förbättra infrastrukturen genom investeringar i nätet
- Förbättra informationssystemen för övervakning och kontroll
- Förbättra modeller och verktyg för analys av driftsäkerheten
- Öka "nätintelligensen" (med vilket man menar ökad automatik)
- Tänka över nätets struktur och hur det används

Med insatser inom drift och planering av nätet avser man:

- Förbättra driftkontrollen genom obligatoriska standarder och mer centraliserat beslutsfattande
- Utredda hur underhållet sker
- Utveckla regionala lösningar
- Utvidga marknadsbaserade lösningar

Man föreslår en nationell vision, "Grid 2030", för elektricitetens andra århundrade.

Bland insatser som har policykaraktär föreslår man:

- Incitament för investeringar i nätet
- Delstatligt godkännande av lokaliseringstillstånd och byggande av nät
- Federal myndighet med ansvar för tillståndsfrågor som ett skyddsnät
- Utveckla RTOs roll och införa obligatoriskt medlemskap i RTO
- Prissättning på kraftöverföring
- Obligatorisk standard för driftsinstruktioner samt
- Att man bygger vidare på FERC's *Standard Market Design and Structure*

Många av de ovan relaterade punkterna har nämnts under de senaste årens diskussioner om tillförlitligheten hos kraftnätet [55].

Cambridge Energy Research Associates, CERA

CERA gick redan den 16 augusti ut med ett påpekande om att orsaken till strömavbrottet sannolikt stod att finna i en kombination av orsaker. Man konstaterar att terrorism tidigt avfördes som orsak, och sade att det sannolikt skulle bli besvärligare och tidskrävande att klarlägga orsaken om det handlade om hur den operativa verksamheten bedrivits och hur olika aktörer samverkat. Man pekade också på möjligheten att år av eftersatta investeringar har börjat kräva sin tribut. Detta skulle kunna förklara varför kraftnätet vara utsatt för sådana påfrestningar, varför överkapacitet och reserver inte förmådde förhindra en kollaps och varför avbrottet drabbade ett så stort område.

CERA ansåg inte att nätkollapsen kom som en total överraskning. Strömavbrottet har belyst frågor som har diskuterats inom kraftindustrin i flera år. CERA har det senaste året arbetat med en kollektivt finansierad studie där investeringsbehovet har studerats. CERAs experter påpekar att det framför allt är gränserna mellan olika regioner som är kritiska. Man anser att antalet förbindelser är för få och att överföringskapaciteten är för låg. Bristerna inkluderar även dålig koordinering

inom och mellan regionerna. Dessa svagheter mellan regionerna bedömde man vara den mest troliga orsaken till det storskaliga strömavbrottet. I dag är nätets funktion att knyta samman köpare och säljare som söker bästa affär oberoende av gränser. Stora industriella kunder köper således regelbundet elkraft från Mellanvästern [3, 6].

Media

I media och bland ledande befattningshavare spekulerades redan från första dagen kring olika möjliga orsaker till avbrottet. Nedan belyses några av de faktorer som förts fram i mediareporteringen. Av naturliga skäl framträder samma problem i något olika skepnader i nedanstående redogörelser.

Organisationen

Experter har varnat för att rivaliserande RTOs eller ISOs leder till allvarliga brister i hur kraftnätet fungerar. Speciellt Mellanvästern har ur driftssynpunkt liknats vid en schweizerost. Ohio delas mellan MISO i den norra delen och PJM i den södra. Dessa regionala verksamheter uppvisar stora olikheter. MISO beskrivs som 35 olika områden som kontrolleras av minst en aktör (*Control Areas*). Det finns många gränser som måste övervakas. PJM däremot består av endast två fullt integrerade Control Areas. Medan PJM har kontroll över ledningsnätet inom sin region, ligger kontrollen inom MISOs region hos medlemmarna, det vill säga de olika lokala kraft- och distributionsbolagen. MISO blir med nödvändighet ett betydligt mer svårstyrt och svårövervakat område. Kommunikationsproblemen framgår tydligt. MISO kämpade för att se vad som hände inom FirstEnergy's område. Man var beroende av FirstEnergy's information för att få en klar bild av vad som pågick, men FirstEnergy's datorsystem fungerade inte, vilket kraftigt begränsade MISOs möjligheter. MISO sökte även hjälp från PJM för att försöka förstå vad som pågick [5].

Ansträngd personal

Enligt en artikel i New York Times hävdar oberoende experter att den mänskliga sidan av kraftsystemet, det vill säga dess operatörer, är överbelastade. Många systemoperatörer talar om ökad stress och felet anses vara den ökande långdistansöverföringen efter avregleringen [44].

Ett komplext system

Avregleringen har krånglat till ett redan komplext sammanfogat system, i vilket ett fysiskt nät utvecklats genom att koppla samman individuella elleverantörers elkraftnät. Kommunikationer sker mellan 6 000 kraftverk, drivna av 3 000 företag och körda genom 142 kontrollrum, ett för varje Control Area. Dessa drivs i sin tur under 10 Reliability Councils, som etablerats av elföretag i kölvattnet av 1965 års elavbrott i nordost. Operatörerna ska balansera elström från kraftverken in till nätet mot el som konsumeras av hushåll och företag. Komplexiteten är ett stort problem och misstag lär vara vanliga. MISO har cirka 20 kontrollrum och man får ringa fram och tillbaka. Nu är man på väg att etablera ett nätkontrollcentrum där man skall ha betydligt bättre överblick. Den verkliga ”knapptryckningen” för att

styra laster och kraftgenerering utförs av individuella operatörer inom regionens 23 elföretag [44].

Databrist hos nätoperatör

Oförmågan hos MISO att cirka en timme före kollapsen få reda på alla överföringsfel i Ohio och anpassa systemet därefter kan ha varit en orsak till strömavbrottet. International Transmission Company i Michigan meddelade att deras granskning av bevarade data från System Data Exchange inte fann någon information om de fel, på sju separata överföringslinjer, som i huvudsak inträffade i FirstEnergy's område i Ohio. Elföretagen är dock skyldiga att rapportera alla fel till System Data Exchange. MISO har bekräftat att de haft svårigheter att avgöra vad som hände strax före strömavbrottet [45].

Förvirring i kontrollrum

Under timmen före strömavbrottet försökte personal i kontrollrummet till ett kraftverk i Ohio att få reda på varför överföringsledningar felade och klagade över att ett datorhaveri gjorde detta svårt. Detta framgår av telefonsamtalsutskrifter som släpptes onsdagen den 3 september. Vid ett tillfälle bad en ingenjör vid MISO ingenjörer vid FirstEnergy att förklara varför de inte hade reagerat på ett strömavbrott, som rapporterats något tidigare, och bett dem ta reda på vad som skedde. Svaret blev att de inte hade en aning och inte var informerade om en del av kraftfluktuationerna omkring dem. I ett annat referat hänvisas till en MISO-teknikers frustration över FirstEnergy's oförmåga att ställa diagnos på problemen i deras kraftsystem. FirstEnergy skyllde på datorproblem. Telefonutskrifter från kontrollrum visade på förvirring inte bara bland FirstEnergy's nätoperatörer, utan att även andra företag hade problem med att inse vad som pågick denna eftermiddag. År 2002 hade branschen 444 operatörsfel, inklusive några som hade potential att orsaka systemfel av dominokaraktär [14].

Datorerna angripna av virus eller mask?

Den 5 september framkom det att FirstEnergy hade problem med att få in realtidsdata. Utskrifterna från telefonsamtal visar att MISO led av svåra funktionsfel i sin nätövervakningsutrustning och i det kommunikationsprogram som de använder för att kommunicera med kraftföretagen. Telefonutskrifterna visar också på problem för International Transmission Company (ITC) i Michigan. Dessutom hade PJM Interconnection datorproblem den 14 augusti. Dessa sammanträffanden pekar på möjligheten av en hackerattack, ett datorvirus eller en datormask som tagit sig in slumpartat eller avsiktligt. Datorproblemen orsakade troligen inte de initiala kraftproblemen, men de kan ha hindrat personalen från att hantera strömavbrotten och förhindra spridning. Strömavbrottet inträffade i samma vecka som den viruslika masken Blaster drabbade cirka 700 000 datorer i världen.

FirstEnergy blev maskangripen i januari 2003 på så sätt att två datorsystem i Davis-Besse-kärnkraftverket maskinfekterades [57].

Kraftigt ökad transmission

Avregleringen på elmarknaden har möjliggjort för aktörer att handla över längre avstånd. Problemet är att kraftnätet inte konstruerades för detta, utan för att på ett pålitligt sätt flytta elektricitet över förhållandevis korta avstånd. Få större ledningar har byggts det senaste årtiondet. Stater där elektriciteten är billig är till och med försiktiga med att öka kapaciteten i befintliga ledningar, eftersom det möjliggör för deras kraftverk att sälja kraft utanför delstatsgränsen. En energikonstfirma som uttalat sig i frågan menar att bara en nationell myndighet kan tvinga stater att acceptera överföringsledningar som inte direkt ligger i deras eget intresse. För närvarande saknar FERC den makten. Ett annat hinder är kostnaderna. Enligt en uppskattning krävs det mellan 30 och 50 miljarder dollar över de närmaste fem åren för att modernisera nätet [42].

Brist på reaktiv effekt

Det finns experter som menar att strömavbrottet var kopplat till brist på reaktiv effekt. Efterfrågan på reaktiv effekt var ovanligt hög beroende på en stor mängd långdistansöverföringar strömmade genom Ohio till områden som behövde importera kraft för att möta den lokala efterfrågan. Tillförseln av reaktiv effekt var liten. Brist på reaktiv effekt kan ha medfört låg spänning på överföringslinjerna och därmed utgjort ett hot mot systemets stabilitet. I årtal har experter varnat för att marknadsförändringar, såsom avskaffande av monopolen och större förlitande på långdistansöverföring har ökat behovet av reaktiv kraft, men minskat motivet för att producera den. En brist på reaktiv effekt kan inte ensam förklara vad som hände vid strömavbrottet, eftersom elbolag med flera som övervakar nätet förväntas intervensera och stabilisera systemet [47].

Sannolika orsaker till strömavbrottet

Vid störningar i komplexa system är det i allmänhet ett samspel mellan flera händelser eller omständigheter som sammantaget resulterar i störningen. Enstaka händelser är man i allmänhet förberedd inför och kan vidta åtgärder som eliminerar, eller åtminstone kraftigt reducerar konsekvenserna.

Organisationen är oklar, speciellt inom den berörda regionen ”Midwest” där MISO har ansvaret.

Klarare gränser för ansvar och befogenheter.

- **Gränserna mellan olika regioners och företags ansvarsområden kommer sannolikt att ingå i förklaringsgrunden för det inträffade.**

Avregleringen ses av många som ett nyliberalt experiment och en orsak till problemen. Avreglering kräver spelregler för aktörerna både för att den eftersträvade konkurrensen skall bli en verklighet och för att tillförlitligheten skall bli betryggande. Kraftnätets utveckling från ett lokalt nät med begränsad samverkan med grannar till dagens avreglerade verksamhet med en utvecklad krafthandel med överföring av stora effekter över långa avstånd ställer mycket större krav på såväl nätet som på hur det övervakas.

Ett robustare kraftnät:

- **Ett föråldrat nät i behov av investeringar i kapacitet och ny teknik, men även underhåll, har redan nämnts av flera kommentatorer som bidragande orsak till strömavbrottet.**
- **Större krav på samverkan vad gäller drift och övervakning.**

Ingen konkret enskild händelse har (hittills) identifierats som enskild utlösande orsak till strömavbrottet och det kommer med all sannolikhet inte heller att ske. Det gör att den specifika händelsesekvens som redovisats tidigare blir mindre intressant. En annan kombination av initiala händelser hade sannolikt kunnat resultera i ett likartat slutresultat. Frågan om förbrukning av reaktiv effekt inom FirstEnergys område kommer sannolikt att nämnas som en bidragande orsak liksom vissa avbrott på kraftledningsnätet och stopp av kraftverk.

Vid sidan av dessa tekniska händelser på nätet så kan man se att förklaringarna konvergerar mot situationen i ett antal kontrollrum:

- **Informationssituationen var otillfredsställande och man hade problem med övervakningsprogram. Man förstod inte vad som hände vilket resulterade i en inaktivitet som till sist ledde till en lavinartad utveckling av strömavbrottet. Sannolikt krävs reservsystem.**
- **Krav på regler för driften av regionala nät kommer att ställas.**
- **Frågor rörande personalens kunskaper och träning lär ställas likaså.**

Den tidslinje som presenterats av den gemensamma amerikansk-kanadensiska kommissionen har enligt vår uppskattning begränsat värde för att förklara det storskaliga strömavbrottet den 14 augusti. De tidigt inträffade händelserna får ses som närmast slumpartade händelser som var nödvändiga för händelseförloppet.

Redan diskuterade förändringar

Röster har höjts för att ge FERC utökade befogenheter som bland annat skall kunna omfatta en möjlighet till vitesföreläggande i det fall aktörer inte följer föreskrivna eller överenskomna regler. Ett förslag innebär att FERC skall kunna föreskriva att NERC utvecklar vissa operativa krav för ökad tillförlitlighet samt att aktörerna blir tvungna att både vara medlemmar av NERC och en RTO. FERCs ökade befogenheter skulle således innebära ett ökat krav på regional samverkan genom att RTOs bildas. Reglerna skulle kräva att varje publikt energiföretag som äger, driver eller styr anordningar för överföring av elektrisk energi i mellanstatlig handel ingår i en RTO.

Sannolikt kommer man att förtydliga och skärpa kraven på samverkan över regiongränserna. Detta kommer att kräva investeringar i övervaknings- och kommunikationssystem, men framför allt klarare ansvar och befogenheter (i kombination med enklare geografiska gränser).

Ytterligare investeringar i stamnätet är sannolikt att vänta.

NERC rekommenderar att FERCs ansträngningar att utveckla RTOs stöds. Man vill se att alla investeringar i kraftnätet knyts till en regional planeringsprocess. Man vill vidare uppmuntra och kräva att man skyddar sitt lokala nät mot överbelastning men inte på bekostnad av närliggande områdets tillförlitlighet. Man vill slutligen se att kongressen gör tillförlitlighetsstandarder obligatoriska.

Myndigheters och organisationers åtgärder och information under elavbrottet

USA

Nätföretagens åtgärder

De första åtgärderna vidtogs strax innan elavbrottet inträffade.

PJM

Enligt en artikel i The Canadian Press den 28 augusti fick det regionala nätope-
ratören PJM information om att en ledning kopplats bort i Ohio på grund av
överlast omkring 40 minuter före elavbrottet. Det ledde till att PJM tog kontakt
med övriga nätföretag i närliggande områden för att få en överblick över läget.
Samtidigt förbereddes en avlastningsåtgärd⁴, vilket är en typ av åtgärd som
genomförs dagligen för att undvika störningar på nätet. Innan några åtgärder hann
vidtas, kopplades dock ytterligare några ledningar i området bort och något senare
inträffade det stora sammanbrottet på elnätet [5]. Enligt PJMs redogörelse inför
Energi- och handelskommittén i Representanthuset den 3 september anger PJM
dock att de inte kände till några störningar förrän de första ledningarna började gå
ned runt 16:10. PJM förlorade cirka 4 500 MW last, varav 4 100 MW i nordöstra
New Jersey och 400 i nordvästra Pennsylvania vid Eriesjön. Skyddsutrustning
kopplade dock automatiskt ifrån större delen av PJMs nät från New York och
Ohio och skyddade därigenom stora delar av PJMs nät från störningarna. När
nedgången i nätet hade avtagit, kunde PJM åter balansera produktion och använd-
ning inom PJM-nätet [54]. PJM gick också ut med information i form av press-
meddelande om det aktuella läget när det gäller elförsörjningen den 14 och
15 augusti.

AEP

När AEP fick uppgifter om FirstEnergy:s nätproblem, togs kontakt med First
Energy och PJM. När kraftflödena på nätet blev så stora att de överskred nätets
begränsningar, kopplades nätets skyddsåtgärder automatiskt på för att isolera nätet
från störningarna. På så sätt förhindrades skador på större delen av AEPs över-
föringsnät [1]. Efter elavbrottet har AEP gått ut med information om avbrottet
samt redovisat händelseförloppet vid elavbrottet.

ISO New England

När ISO New England fick information om störningarna på nätet lyckades man
isolera större delen av företagens nät. Den automatiska skyddsutrustningen på
nätet kopplade ifrån nätet från störningen västerut och öppnade förbindelser med
New York-regionen. Därför skyddades även större delen av ISOs nät från av-

⁴ Transmission line load relief

brottet. Elavbrottet drabbade dock sydvästra Connecticut, där den svagaste delen av ISOs nät finns [29]. ISO New England gick i likhet med övriga bolag ut med information om elavbrottet den 14 augusti och fortsatte att redogöra för utvecklingen under de närmast efterföljande dagarna.

FirstEnergy

Enligt FirstEnergy:s första beskrivning av händelseförloppet [25] började det flera timmar innan det stora avbrottet med att en enhet i kraftverket i Eastlake, Ohio, stoppade. Senare samma eftermiddag löstes tre av företagets ledningar ut samt en av AEPs ledningar. Uppgifter som kom från MISO indikerade att det var flera överföringsförbindelser som lösts ut i regionen utanför FirstEnergy's system.

Enligt FirstEnergy's övervakningssystem var systemet i balans, varför ingen isole-ring av nätet skedde. Företagets alarmsystem fungerande dock inte den 14 augusti. Den 15 augusti gick FirstEnergy ut med information om att man avslutat den roterande bortkopplingen av kunder som hade genomförts tidigare under dagen samt vilka kunder som kunde förväntas få elen tillbaka under kvällen [24]. FirstEnergy uppmanade även kunderna att spara på el, en uppmaning som gällde fram till den 23 augusti [23].

Midwest ISO

Midwest ISO märkte de första förändringarna på elnätet klockan 16:09 den 14 augusti. Klockan 16:19 tog Midwest ISO initiativ till dagens första samordningssamtal med NERC för att samordna övervakningen av näten mellan alla regionala elsäkerhetssamordnare.⁵ Efter det följde många samordningssamtal per dag under de första dagarna. När nätet var intakt igen skedde endast ett fåtal samordningssamtal per dag. Genom samarbetet mellan nätföretagen kunde el från Illinois hjälpa till att stabilisera nätet i Michigan och man kunde avgöra när det var säkert att återuppta förbindelsen mellan Michigan och Kanada. Enligt Midwest ISO fungerade nätets säkerhetsutrustning som den skulle och tack vare den kunde elavbrottet begränsas från att spridas ytterligare och restaureringen kunde gå fortare [31].

New York ISO

New York ISO, drabbades av händelserna som orsakade elavbrottet klockan 16.11 den 14 augusti och inom några få sekunder drabbades systemet av stora kraftflöden och kraftiga svängningar av frekvens och last. Svängningarna ledde till att större delen av nätet i New York-regionen gick ned. Endast cirka 20 procent av New Yorks last klarade sig från elavbrottet. Så snart avbrottet inträffat påbörjade New York ISO restaureringen av nätet och på förmiddagen den 15 augusti hade elen kommit tillbaka till hela regionen [48]. Även enligt New York ISO fungerade nätets säkerhetsutrustning som den skulle och tack vare den kunde den stoppa störningen från att slå ut hela nätet och medförde att återuppbyggnaden kunde gå fortare [49].

⁵ Reliability Coordinators

Energidepartementets åtgärder

Department of Energys första meddelande efter elavbrottet kom den 14 augusti med information om vilka myndigheter och organisationer som var ansvariga för situationen [15]. Påföljande dag, den 15 augusti, gick energiminister Spencer Abraham ut med en uppmaning om att begränsa elförbrukningen när elen kom tillbaka i de berörda områdena och informerade samtidigt om att arbete pågick med att finna orsaken till avbrottet [17]. Samma dag uppmanade energiministern det regionala nätföretaget att ta i bruk en kabel – Cross Sound Cable – mellan ett avstängt kärnkraftverk på Long Island och New Haven för att kunna föra över kraft mellan staterna och på så sätt stabilisera spänningen på nätet. Kabeln får av miljöskäl endast användas i krissituationer [15]. Samma dag uppmanade även New Yorks borgmästare president Bush att förklara undantagstillstånd⁶ för staden [19]. Den 23 augusti fattade FEMA (U.S. Departement of Homeland Security's Federal Emergency Management Agency) beslut om att avsätta krisfonder på sammanlagt 5 miljoner USD för att täcka kostnader relaterade till elavbrottet, som rörde åtgärder för att rädda liv, skydd av egendom och skydd av folkhälsa under dagarna 14 till 16 augusti [20].

US Department of Homeland Security och Department of Energy har gått ut gemensamt i samband med en utfrågning i Representanthuset och förklarar att man varit effektiva i sitt arbete i samband med strömavbrottet. Man ämnar förbättra sig ytterligare samtidigt som man konstaterade att det hade fungerat eftersom nyckelpersoner kände varandra och hade fungerande kontakter sedan tidigare.

Federal Energy Regulatory Commissions åtgärder

FERC har sedan elavbrottet bevakat utvecklingen och händelserna som är en följd av elavbrottet. Direkt efter elavbrottet begav sig personal från FERC till Departement of Energy (DOE) för att samordna FERCs övervakning av situationen med DOEs krishanteringsgrupp. Vidare höll NERC en telefonkonferens mellan alla koordinatörer som är ansvariga för elsäkerhet, där FERC och de regionala nätföretagen och marknadsövervakarna deltog. Även de berörda organisationerna i Kanada deltog. FERC följde även telefonsamtal mellan de regionala nätföretagen och systemoperatörerna [21].

I Washington försågs Department of Energy med relevant information om elavbrottet och vilka åtgärder som pågick av FERC. FERC samlade även in information från systemoperatörer och marknadsövervakare i de berörda områdena. Särskilt övervakades marknaden i staten New York då elen kom tillbaka.

Lokal uppföljning av informationsarbetet

New Yorks borgmästare Bloomberg inbjöd den 12 september 2003 allmänheten att komma med åsikter om stadens sätt att hantera strömavbrottet. En enkät kunde

⁶ State of Emergency

fyllas i på stadens officiella hemsida (www.nyc.gov). Borgmästaren framhöll att han var ute efter konstruktiv kritik. Målet med enkäten var att bli bättre förberedd vid nästa katastrof. Bloomberg ville också få reda på huruvida poliser hade fått den information de behövde, och om folk känt till var de kunde få hjälp. Ett specifikt problem som Bloomberg talade om var att många mobiltelefoner inte fungerade under strömavbrottet. Resultatet av enkäten beräknas kunna presenteras i slutet av oktober.

Kanada

I Kanada öppnades federala krishanteringscentra strax efter att elavbrottet inträffat och "Krisberedskapsmyndigheten" (Office of Critical Infrastructure Protection and Emergency Preparedness, OCIEPEP) uppmanade till förhöjd beredskap. Regeringens krishanteringscentra bemannades samtidigt som flera andra myndigheter aktiverade egna krishanteringscentra [50].

Ontarios regering försatte strax efter avbrottet Ontario i undantagstillstånd. Alla som inte behövde gå till sitt arbete ombads att stanna hemma från arbetet påföljande dag (det vill säga fredagen den 15 augusti). Medborgarna uppmanades även att dra ned på elkonsumtionen med omkring 50 procent, samtidigt som energianvändningen begränsades i de offentliga byggnaderna [50].

Ontarios elmarknadsövervakare, IMO⁷, kopplade ifrån de marknader som organisationen har att administrera strax efter det att elavbrottet inträffat. Därefter gick IMO ut med manuella instruktioner för att samordna ett återställande av systemen. I samarbete med marknadens aktörer kontrollerades att kommunikationssystemen fungerade och att data som fanns tillgängliga återspeglade verkliga förhållanden [52].

Under de följande dagarna gav regeringen, genom Treasure Board of Canada Secretariat, dagligen ut information om vilka kontors- och servicelokaler som öppnats efter elavbrottet. På hemsidan fanns även information om vilka myndigheter som ansvarade för olika frågor och telefonnummer att ringa vid frågor [58, 59]. Intressant att notera är dock att i det inledande skedet, under eftermiddagen och kvällen den 14 augusti, fungerade inte OCIEPEPs telefonlinjer, vilket ledde till felaktig information om elavbrottet i media [27].

Information till allmänheten

Såväl Natural Resources Canada, NERC och OCIEPEP publicerade informationen om elavbrottet på sina hemsidor. Regeringen, genom Treasure Board of Canada Secretariat, uppmanade befolkningen att hålla sig ajour om läget genom att hämta information från OCIEPEPs hemsida samt följa nyhetsbevakningen i media. Ansvariga personer i NERC och Natural Resources Canada intervjuades dagligen i TV, press och radio. OCIEPEP och "Ministeriet för säkerhet och trygghet"

⁷ Ontario Independent Market Operator

(Ministry of Public Safety and Security) upprättade även särskilda telefonlinjer för frågor om elavbrottet. Anställda inom regeringskansliet ombads ringa sitt kontor för att kontrollera om de borde infinna sig på sitt arbete eller inte [58, 59]. Under hela krissituationen gick Ontarios elmarknadsövervakare ut med information till marknadsaktörerna och viktiga industrier [52].

NERC

NERC har kontinuerligt givit ut information om händelseförloppet i de berörda områdena sedan elavbrottet. Personal från NERC samarbetar vidare med Department of Energy och Natural Resources Canada och bistår den gemensamma kommissionen för elavbrottet (US-Canada Task Force) [33].

Gemensam kommission om elavbrottet

USAs energiminister Spencer Abraham och Kanadas naturresursminister Herb Dhaliwal möttes i Detroit, Michigan, den 20 augusti 2003 och enades om ett direktiv för den gemensamma amerikanska och kanadensiska kommission som har till uppgift att undersöka elavbrottet. Enligt direktivet skall kommissionen klargöra vad som hände, och varför avbrottet fortplantade sig. Kommissionen har också till uppgift att föreslå åtgärder som kan hjälpa till att förhindra ett upprepande [30].

Kommissionen fick dubbelt ordförandeskap i form av Abraham från USA och Dhaliwal från Kanada. Medlemmar av kommissionen är

Från USA:

- Minister Spencer Abraham – Department of Energy – Delat ordförandeskap
- Minister Tom Ridge – Department of Homeland Security
- Ordförande Pat Wood – Federal Energy Regulatory Commission
- Ordförande Nils J. Diaz – Nuclear Regulatory Commission

Från Kanada:

- Minister Herb Dhaliwal – Natural Resources Canada – Delat ordförandeskap
- Vice premiärminister John Manley
- Ordförande Kenneth Vollman – National Energy Board
- Verkställande direktör Linda Keen – Canadian Nuclear Safety Commission

Arbetet i kommissionen leds av Jimmy Glotfelty från USAs Department of Energy och Dr. Nawal Kamel från Natural Resources Canada.

Kommissionen stötts av tre arbetsgrupper som ägnar sig åt elsystem, säkerhet och kärnkraftsfrågor. Arbetsgrupperna består av representanter för alla relevanta federala departement och myndigheter samt berörda delstater och provinser. Kommissionen stötts av NERC samt berörda nätföretag och kraftföretag [30]. Förutom kommissionen bedriver NERC en egen utredning. Man har kommit överens om att samarbeta för att undvika dubbelarbete. Det var NERCs ansvar att

sammanställa den tidslinje, som presenterades den 12 september. En preliminär rapport skall presenteras i oktober och slutrapporten skall presenteras före den 1 januari 2004 [2].

Mediabevakning

Händelsen och dess konsekvenser har redan från första dygnet fått mycket stor täckning i både lokala och nationella medier i Nordamerika. Avbrottet dominerade sändningarna och programtablåer lades om [61]. Tidigt rapporterades om effekter av strömavbrottet. Efterhand som kunskapen om vad som hade hänt ökade utökades mediabevakningen till ytterligare ämnesområden. De första dagarna presenterades en del olika möjliga orsaker till händelsen, varav flera därefter kunde dementeras. Ett axplock av dessa meddelanden, som senare fick dementeras, presenteras nedan.

- Den kanadensiske premiärministern slog fast att blixten slagit ned i ett kraftverk i norra New York State och att detta satt igång en lavinartad utveckling av strömavbrott. New York ISO gick ut och dementerade och påpekade att området ifråga hade fungerande elleveranser.
- Den kanadensiske försvarsministern gick ut och lade skulden på ett kärnkraftverk i Pennsylvania. (Ansvariga inom delstaten gick ut och dementerade. Senare gick försvarsministern ut och förklarade att han fått felaktiga uppgifter.)
- CNN citerade en ej namngiven källa som hävdade att Niagara-Mohawk-nätet brutits.
- Guvernören i New Mexico (tidigare US Secretary of Energy) karakteriserade USA som en supermakt med ett elkraftnät motsvarande ett land i tredje världen. Detta ledde till att man i Europa beskrev hur mycket bättre de europeiska systemen är.

Därefter har olika talare hävdade att avregleringen är orsaken till problemen. Senare på natten den 14 augusti hävdades att problemen startade i Ohio, ett påstående som dementades av FirstEnergy. Ordföranden i NERC gick ut och konfirmerade att problemen startat i Ohio. På lördag morgon presenterades hypotesen att problemet börjat med att flödesriktningen ändrats i kraftledningssystemet runt Eiresjön. Den 18 augusti hävdade en grupp som associeras med Al-Qaida att de låg bakom strömavbrottet.

Knappt en månad efter händelsen hade media i sin löpande rapportering belyst bland annat händelseförloppet och olika följd effekter. Den tidiga rapporteringen innehöll bland annat fragmentarisk information om den kontinuerliga utvecklingen mot normaliserade förhållanden i samhället och reportage om hur ”den lilla människan” påverkats. Media belyste olika konsekvenser för samhället och kostnader för olika berörda. Nyhetsmedia beskrev även löpande hur myndigheterna planerade och påbörjade arbetet med att analysera det inträffade. Efter en viss tid belystes olika möjliga effekter och konsekvenser för framtiden. Även skuldfrågan berördes efter ett tag. Under en tidsperiod kortare än en månad hade, enbart i nät-

bilagorna av New York Times och Washington Post, ungefär 100 artiklar med beröring till avbrottet publicerats.

Media har återkommit med mer detaljerade artiklar när sammanställningar av information från elbolagen blivit tillgängliga.

Lärdomar från avbrottet

En viktig lärdom av strömavbrottet är att lyssna på kritiker! Varningssignalerna bör ha hörts av alla berörda. Men varningssignalerna har inte behandlat alla aspekter av att öka tillförlitligheten hos elsystemet. Det har talats mycket om stora investeringsbehov men lite om drift av ett komplext system. Enligt information som blivit tillgänglig efter mörkläggningen så finns det i denna komplexa organisation verksamheter där ansvar och befogenheter förefaller oklara, eller alltför begränsade för att fungera i ett akut läge.

Hade vissa kontrollrum haft en klar bild av vad som höll på att hända, hade sannolikt inte strömavbrottet inträffat eller i alla fall kunnat begränsas avsevärt. Nu finns exempel på rapporter som tyder på att man på sina håll arbetade i blindo.

Den nära historien tyder på att det behövs ökade investeringar i kraftnätet för att uppnå en tillfredsställande tillförlitlighet.

Det behövs en översyn av organisationen inom MISO med klarare ansvar och befogenheter. Antalet kontrollrum som är involverade i beslutsprocessen måste reduceras. Denna organisationsförändring förefaller behöva kompletteras med en djupgående analys av informationssystem och kommunikationssystem inom och mellan olika kontrollrum. Här behövs säkerligen investeringar för att undvika att man hamnar i en helt oacceptabel informationsblackout igen.

FERC (eller någon annan myndighet) bör ha befogenheter att föreskriva spelregler och åtgärder som är ägnade att öka tillförlitligheten. Även avreglering kräver regler. Frivillighet med påtryckningar förefaller vara en för tidskrävande process. Risken är att helheten kompromissas bort.

Lärdomar för svensk del

Den svenska lösningen med ett stamnät och en ansvarig, Svenska Kraftnät, förefaller vara en lösning som minimerar driftsproblem inklusive problem med kommunikation och information på grund av gränsdragning. Samverkansformer med våra grannländer måste ha en hög prioritet för att tillförlitlighet och robusthet skall kunna tillfredsställa högt ställda krav.

Det finns skäl att se över behovet av ny elproduktionskapacitet, speciellt i södra Sverige för att kraftsystemet skall bli robustare.

Man bör lyssna på och värdera kritiska argument på ett prestigelöst sätt för att undvika en situation liknande den i USA. Där har kritiker påtalat brister i flera år utan att åtgärder vidtagits. En lärdom som hör samman med den inhemska amerikanska kritiken är att noga överväga indirekta effekter av till exempel en avreglering. Det goda i form av lägre kostnader på grund av konkurrens skall ställas mot en förväntad ökning av överföring över längre distanser och risk för små marginaler vad gäller överföringskapacitet, vilket kan tolkas i termer av ökad sårbarhet.

Det är viktigt att se till att investeringarna i kraftnätet står i relation till behovet av ny kapacitet och underhåll av befintliga investeringar.

Fungerande informationssystem och kommunikationssystem är en förutsättning för en tillfredsställande drift. Viktiga system måste dubbleras för att garantera nödvändiga reserver för att undvika att man hamnar i en informationsblackout.

Viktigt är att samverkansformerna är klara och att ansvar och befogenheter är tydligt fördelade mellan alla aktörer, även utländska.

Det är viktigt att snabbt gå ut med information för att undvika en spekulationsvåg i media.

Alla berörda datorer för styrning och övervakning skall ha sina interna klockor synkroniserade med lokal standardtid. Detta för att tidsangivelser från olika datorer skall stämma överens.

Virus- eller maskattacker (cyber attacks) kan störa datorövervakningen av elnäten. Kraftfulla åtgärder måste vidtas och därefter hållas aktuella för att minimera risken för skador och för att minimera konsekvenserna av eventuella skador.

Tidigare omfattande strömavbrott

Elsystem kan påverkas av olika händelser som till större eller mindre grad har betydelse för leveransen av elektricitet till slutanvändarna. Bland annat kan naturfenomen, fel i komponenter, olyckor eller medvetna handlingar samt svårigheter som uppstår i den normala driften av systemet påverka leveranserna. I USA skall vissa typer av händelser enligt lag rapporteras till den federala regeringen. Informationen, som skall sammanställas av kraftindustrin, samlas in av Department of Energy (DOE) via blankett EIA-417 *Emergency Incident and Disturbance Report*. Reglerna säger att berört bolag måste fylla i blanketten när något av de nio nedan listade kriterier uppfylls:

- Okontrollerad förlust av 300 MW eller mer som fast last under minst 15 minuter vid ett tillfälle
- Belastningsutjämning av 100 MW eller mer genomförd under nöddriftsbetingelser
- Spänningssänkning inom nät med tre procent eller mer
- Vädjan till allmänheten att reducera elförbrukningen i syfte att bibehålla funktionen i elsystemet
- Verkliga eller misstänkta fysiska attacker som kan påverka elsystemets förmåga eller tillförlitlighet; eller vandalisering som riktar sig mot komponenter i något säkerhetssystem
- Verkliga eller misstänkta IT-attacker som kan påverka elsystemets förmåga eller sårbarhet
- Nödsituationer i bränsletillförseln som kan påverka elsystemets förmåga eller tillförlitlighet
- Avbrutna elleveranser till mer än 50 000 abonnenter under minst en timme
- Fullständig kollaps eller avstängning av elektriska överförings- och/eller distributionssystem.

DOE:s Energy Information Administration (EIA) redovisar inrapporterade händelser i rapporten *Electric Power Monthly*, under bilaga B *Major Disturbances and Unusual Occurrences*. Tidigare nummer av *Electric Power Monthly*, från maj 1996 till idag, kan laddas ner från EIAs hemsida via sökvägen www.eia.doe.gov/cneaf/electricity/epm/matrix96_2000.html.

North American Electric Reliability Council (NERC) har till uppgift att se till att det elektriska ledningssystemet i Nordamerika är tillförlitligt, ändamålsenligt och säkert. NERC sammanställer störningar i systemet som rapporteras in till DOE och NERC, och redovisar denna i *The DAWG⁸ Database*. Sedan 1979 har organisationen publicerat slutsatser från ett urval störningar och ovanliga händelser för att bland annat sprida erfarenheter och lärdomar. Den senast sammanställda

⁸ Disturbance Analysis Working Group

rapporten (april 2003) behandlar fem av totalt femtio registrerade incidenter under 2001. Rapporten *2001 System Disturbances* finns att ladda ned från www.nerc.com/~dawg/. Även tidigare System Disturbances-rapporter kan erhållas från NERC. På hemsidan finns även DAWG-databasen, med registrerade incidenter från 1984-2000.

Bland de incidenter och störningar som inträffat i Nordamerika under de senaste fyra decennierna har NERC sammanställt en lista⁹ med en handfull exempel på de mest omfattande händelserna.

- Den 9 november 1965 drabbades större delen av New York, Connecticut, Massachusetts, Rhode Island samt mindre områden inom norra Pennsylvania och nordöstra New Jersey i USA samt stora områden inom Ontario, Kanada, i upp till 13 timmar av strömavbrott. I området som påverkades av förlusten av över 20 000 MW, fanns 30 miljoner kunder.
- Den 13 juli 1977 drabbades 9 miljoner kunder i New York City, då problem uppstod med leveranser av 6 000 MW i upp till 26 timmar.
- Den 2 juli 1996 drabbades 10 procent av kunderna (2 miljoner) i Western Interconnection (i staterna Arizona, Kalifornien, Idaho, Montana, Nebraska, Nevada, New Mexico, Oregon, South Dakota, Texas, Utah, Washington och Wyoming samt British Columbia i Kanada och Baja California Norte i Mexico) av ett elavbrott omfattande 11 850 MW. Avbrottet varade från några minuter till flera timmar.
- Den 10 augusti 1996 påverkades 7,5 miljoner kunder i upp till 9 timmar i Arizona, Kalifornien, Colorado, Idaho, Montana, Nebraska, Nevada, New Mexico, Oregon, South Dakota, Texas, Utah, Washington och Wyoming i USA samt British Columbia i Kanada och Baja California Norte i Mexico.
- Den 25 juni 1998 berördes 152 000 kunder i 19 timmar i Minnesota, Montana, North Dakota, South Dakota och Wisconsin i USA samt Ontario, Manitoba och Saskatchewan i Kanada. Totalt 950 MW.

I bilaga 1 beskrivs händelseförloppen kortfattat.

⁹ www.nerc.com/pub/sys/all_updl/docs/misc/BlackoutTable.pdf

Referenser

1. AEP, www.aep.com, 2003-09-04, *Congressional Testimony – House Committee on Energy and Commerce Sept. 4, 2003*
2. ÅF, 2003-09-18, *Besöksprotokoll från Natural Resources of Canada 2003-09-18*
3. ÅF, 2003-09-15, *Besöksprotokoll från Cambridge Energy Research Associates 2003-09-15*
4. ÅF, 2003-09-16, *Besöksprotokoll från US Department of Energy 2003-09-16*
5. Beacon Journal, Ohio Sunday, 2003-08-28, *Powerless*
6. Canada.com news, www.canada.com, 03-08-28, *US Power grip operator says blackout preceded by early indications of trouble*
7. CNN, www.cnn.com, 2003-08-14, *Major power outage hits New York, other large cities*
8. CNN, www.cnn.com, 2003-08-15, *Blackout raises questions worldwide*
9. CNN, www.cnn.com, 2003-08-15, *Gold eases to \$365 level*
10. CNN, www.cnn.com, 2003-08-15, *Most lights back on in Cleveland*
11. CNN, www.cnn.com, 2003-08-15, *Power outage leaves Motor City low on fuel*
12. CNN, www.cnn.com, 2003-08-15, *Power returns to most areas hit by blackout*
13. CNN, www.cnn.com, 2003-08-17, *A timeline of the 2003 blackout*
14. CNN, www.cnn.com, 2003-09-03, *Confusion in control centre before blackout*
15. Department of Energy, www.energy.gov, 2003-08-14, *Statement from DOE*,
16. Department of Energy, www.energy.gov, 2003-08-15, *Department of Energy Issue Emergency Order to Restore Power Federal to Thursday's Blackout*
17. Department of Energy, www.energy.gov, 2003-08-15, *Statement of the Secretary of Energy*
18. FEMA www.fema.gov, 2003-08-19, *Emergency Managers, National Situation Update, Tuesday, August 19, 2003*
19. FEMA, www.fema.gov, 2003-08-18, *Emergency Managers, National Situation Update, Monday August 18, 2003*
20. FEMA, www.fema.gov, 2003-08-23, *Emergency Funds Authorized For New York Blackout Response*
21. FERC, www.ferc.gov, 2003-09-03, *Summary of Testimony of Chairman of FERC, Before the Committee on Energy and Commerce United states House of Representation September 3, 2003*
22. FERC, www.ferc.gov, 2003-09
23. FirstEnergy, www.firstenergycorp.com, 2003-08-22, *FirstEnergy Request For Voluntary Electricity Conservation*

24. FirstEnergy, www.firstenergycorp.com, 2003-08-15, *FirstEnergy Ends Customer Load Reduction Activities*
25. FirstEnergy, www.firstenergycorp.com, 2003-09-16 *FirstEnergy Provides Initial Assessment of Status of Its System*
26. FirstEnergy, www.firstenergycorp.com, 2003-08-15, *Press Release*
27. Fort Wayne magazine, www.fortwayne.com, 2003-08-16, *Canada Bungles Responses to Blackout*
28. Independent Electricity Market Operator, www.theimo.com, 2003-08-29, *August 14 Blackout Significant Restoration Milestones*
29. ISO New England, www.iso-ne.com, 2003-09-04, *Written Testimony of Gordon Can Welie ISO New England Inc. Before the Committee on energy and Commerce United States House of Representatives, September 4 2003*
30. MISO, 2002-08-28, *MAPP Fall Conference: Evolution of the Midwest ISO by John Catlin, Director of Client Relations*
31. MISO, 2003-09-10, *Statement of Mr. James P. Torgerson, Senate Committee on Governmental Affairs “ Keeping the Lights on: The Federal Role in Managing the Nation’s Electricity, Septebmer, 10 2003*
32. Natural Resources Canada, 2003-08-20, *Joint Communiqué on the U.S./Canada Power System Outage Task Force*
33. NERC, 2003-09-02, *NERC responses to questions posed by Mr Dingle, Ranking Member, U.S House Energy and Commerce Committee,*
34. NERC, www.nerc.com, 2003-09
35. NERC, www.nerc.com, 2003-08-15, *Outage announcement 5*
36. NERC, www.nerc.com, 2003-08-15, *Preliminary Disturbance Report August 14 Outage Sequence of Events*
37. NERC, www.nerc.com, 2003-08-16, *Outage announcement Update*
38. NERC, www.nerc.com, 2003-08-17, *Press Release Electric System Update*
39. NERC, www.nerc.com, 2003-09-08, *News Nr 8*
40. NERC, www.nerc.com, 2003-09-12, *U.S./Canada Power Outage Task Force August 14, 2003 Outage Sequence of Events September 12, 2003*
41. New York Times, www.nytimes.com, 2003-08-17, *How Many in the Dark? Evidently Not 50 Million*
42. New York Times, www.nytimes.com, 2003-08-24, *Forget Deregulation. It's the Wires, Stupid*
43. New York Times, www.nytimes.com, 2003-08-28, *Sewage Spill During Blackout Exposes a Lingering Problem*
44. New York Times, www.nytimes.com, 2003-09-02, *Experts Point to Strains on Electric Grid's Specialists*
45. New York Times, www.nytimes.com, 2003-09-04, *Lag of Data to Grid Operator May Be a Key to Blackout*
46. New York Times, www.nytimes.com, 2003-09-13, *Mayor's Survey Is Asking: How Did We Do in Blackout?*
47. New York Times, www.nytimes.com, 2003-09-23, *Elusive Force May Lie at Root of Blackout*

48. New York ISO, 2003-09-10, *Statement of Mr. William J Musler, Senate Committee on Governmental Affairs “Keeping the Lights on: The Federal Role in Managing the Nation’s Electricity”, September, 10 2003*
49. New York ISO, 2003-09-03, *Statement of Mr. William J Musler, Before the Committee on energy and Commerce United States House of Representatives, September 4 2003*
50. OCIPEP, www.ocipep-bciepc.gc.ca, 2003-08-22, *Conservation efforts pay off Ontario*
51. Oil & Gas Journal, Vol 101.33, 2003-08-25, *Lights out on US energy policy*
52. Ontario Independent Market Operator, www.theimo.com, 2003-09-30, *Blackout 2003*
53. PJM, www.pjm.com, 2003-08-28, *PJM Events August 14, 2003*
54. PJM, www.pjm.com, 2003-09-10, *Executive Summary of Testimony of Craig A. Glazer, Vice President, government Policy, PJM Interconnection*
55. Power Systems Engineering Research Center, Serc, www.pserc.wisc.edu
56. Source One, 2003-08-19, *Technical Bulletin*
57. The Plain Dealer, www.cleveland.com, 2003-09-14, *Computers failed in 4 places just before August blackout*
58. Treasure Board of Canada Secretariat, www.tbs-sct.gc.ca, 2003-08-20, *Federal Buildings to Open on Limited Basis,*
59. Treasure Board of Canada Secretariat, www.tbs-sct.gc.ca, 2003-08-21, *Government of Canada Opens more Buildings*
60. Treasure Bord of Canada Secratariat, 2003-08-22, *Government of Canada to Return to Normal Operations in Ontario*
61. Wikipedia, www.wikipedia.org, 2003-09-20, *2003 US-Canada blackout*

Ordlista

Nationella och lokala myndighetsorganisationer, branschorganisationer och begrepp

ANSI	American National Standards Institute
CEA	Canadian Electricity Association
DAWG	Disturbance Analysis Working Group
DOE	Department of Energy (USA)
ECPA	Electric Consumers Protection Act
EDT	Eastern Daylight Savings Time (östlig sommartid)
EIA	Energy Information Administration (DOE, USA)
FEMA	Federal Emergency Management Agency
FERC	Federal Energy Regulatory Commission
FPA	Federal Power Act
IMO	Independent Electricity Market Operator
ISO	Independent Service Operator, numera strävas mot RTO
ITC	International Transmission Company
NERC	North American Energy Reliability Council
OCIPEP	Office of Critical Infrastructure Protection and Emergency Preparedness (Kanada)
RTO	Regional Transmission Organization
SMD	Standard Market Design and Structure

Energibolag, nätbolag, regionala nätbolag m fl

CA ISO	California ISO; Ideell, operativ som ISO sedan 1998, fyller de flesta kraven på RTO men är inte formellt godkänd av FERC, Ansökan inlämnad
CERA	Cambridge Energy Research Associates är en forsknings- och utredningsorganisation inom området olja, gas och el, med cirka 220 anställda på 12 kontor. CERA presenterar sig som en <i>near market industry analyst</i> och tar <i>no political positions</i>
FE	FirstEnergy
Grid Florida	Ideell, godkänd med förbehåll av FERC, men ansökan vilande pga delstatliga frågor.
Grid South	Nord- och Sydkarolina; Vinstkrav, godkänd med förbehåll men ansökan vilande då medlemmar kan gå samman med andra RTO
HQ	Hydro Quebeq
Ontario IMO	Ontario Independent Electricity Market Operator
ISO NE	ISO New England; Ideell, operativ som ISO sedan 1997, fyller de flesta kraven på RTO men är inte formellt godkänd av FERC
ITC	International Transmission Company

Midwest ISO	Ideell; godkänd och arbetar som RTO sedan 2002, startade som ISO 1996
MISO	Midwest ISO;
NYISO	New York ISO; Ideell, operativ som ISO sedan 1998, fyller de flesta kraven på RTO men är inte formellt godkänd av FERC
PJM	PJM Interconnection LLC; Ideell, godkänd som RTO av FERC 2002, startade som ISO 1997
RTO West	Nordvästra USA; Ideell, godkänd med förbehåll men många detaljer återstår till ett formellt godkännande av FERC
SeTrans Grid	I huvudsak Mississippi, Alabama, Georgia; Vinstkrav som nätoperatör, godkänd med förbehåll, men många detaljer återstår till ett formellt godkännande av FERC
Southwest Power Pool	Ideell; Kommer att ansöka igen hos FERC för att få status som RTO
WestConnect RTO	Vinstkrav, godkänd med förbehåll, men många detaljer återstår till ett formellt godkännande av FERC

Tekniska termer

Block	Del av kraftverk bestående av en panna eller kärnreaktor och tillhörande turbingeneratorer
GW	gigawatt, en miljard watt (10^9 watt)
GWh	gigawattimmar
Hz	Hertz (frekvens i perioder per sekund)
kV	kilovolt
MW	megawatt
TWh	Terawattimmar, (10^{12} watt)
Ö	Område som försörjs internt med elström utan elutbyte med omvärlden

Bilaga 1: Exempel på tidigare omfattande strömavbrott

Följande tabell är nedladdad från: www.nerc.com/pub/sys/all_updl/docs/misc/BlackoutTable.pdf

DATE	STATES/ PROVINCES AFFECTED	CUSTOMERS AFFECTED	DURATION	DESCRIPTION
November 9, 1965	Virtually all of New York, Connecticut, Massachusetts, Rhode Island, and small segments of northern PA and northeastern NJ; substantial areas of Ontario, Canada.	30,000,000; over 20,000 MW of demand	Up to 13 hours	A backup protective relay operated to open one of five 230-kV lines taking power north from the Beck plant in Ontario to the Toronto area. When the flows redistributed instantaneously to the remaining four lines, they tripped out successively in a total of 2½ seconds. The resultant power swings resulted in a cascading outage that blacked out much of the northeast.
July 13, 1977	New York City	9,000,000 people; 6,000 MW of demand	Up to 26 hours	A series of events triggering the separation and total collapse of the Con Ed system began when two 345 kV lines on a common tower line in Northern Westchester were struck by lightning and tripped out. Over the next hour, the Con Ed dispatcher tried to save his system, but in the end the system electrically separated from surrounding systems and collapsed. Generation inside New York City was not adequate, by itself, to serve the load inside the city.
July 2, 1996	Arizona, California, Colorado, Idaho, Montana, Nebraska, Nevada, New Mexico, Oregon, South Dakota, Texas, Utah, Washington and Wyoming in the United States; Alberta and British Columbia in Canada; and Baja California Norte in Mexico.	2,000,000 (10 % of the customers in the Western Interconnection); 11,850 MW of demand	From a few minutes to several hours	The outage began when a flashover occurred between a 345,000-volt transmission line and a tree that had grown too close to the line in Idaho. Protective devices detected the short and de-energized the line. A protective relay on a parallel transmission line also detected the fault and erroneously opened the second line. Disconnecting these two lines nearly simultaneously greatly reduced the ability of the system to carry power away from a near-by generating plant, causing other protective devices to shut down two of the four generating units at that plant. With the loss of these two units, frequency in the entire Western Interconnection began to decline. For 20 seconds the system struggled to remain in balance, but the system was becoming unstable. At this point, automatic protection systems were initiated to allow the system to bend, but not break. Scattered customer outages occurred to help the system regain balance. The Interconnected system separated into five pre-engineered islands designed to minimize customer outages and restoration times.

DATE	STATES/ PROVINCES AFFECTED	CUSTOMERS AFFECTED	DURATION	DESCRIPTION
August 10, 1996	Arizona, California, Colorado, Idaho, Montana, Nebraska, Nevada, New Mexico, Oregon, South Dakota, Texas, Utah, Washington and Wyoming in the United States; Alberta and British Columbia in Canada; and Baja California Norte in Mexico.	7,500,000 customers; 28,000 MW of demand shed by underfrequency load-shedding relays	Up to 9 hours	<p>Triggered by a combination of random transmission line outages and resulting system oscillations, the Western Interconnection separated into four electrical islands, with significant loss of load and generation.</p> <p>Prior to the disturbance, the 500 kV and underlying Interconnected transmission system from Canada south through Washington and Oregon to California was heavily loaded due to (1) relatively high demand caused by hot weather throughout much of the WSCC Region, and (2) excellent hydroelectric conditions in Canada and the Northwest that lead to high electricity transfers (including large economy transfers) from Canada into the northwest and from the northwest to California.</p> <p>Failure to trim trees and remove others identified as a danger to the system caused flashovers (short circuits) from of several 500 kV transmission lines, the last of which led to overloads and cascading outages throughout the Western Interconnection.</p> <p>Also, operators were unknowingly operating the system in a condition in which one line outage would trigger subsequent cascading outages because adequate operating studies had not been conducted.</p>
June 25, 1998	Minnesota, Montana, North Dakota, South Dakota and Wisconsin in the United States; Ontario, Manitoba and Saskatchewan in Canada.	152,000 customers; 950 MW of demand	19 hours	<p>A severe lightning storm in Minnesota initiated a series of events, causing a system disturbance that affected the entire Mid-Continent Area Power Pool Region and the northwestern Ontario Hydro system of Northeast Power Coordinating Council.</p> <p>Lightning struck a 345,000-volt line, and system protection de-energized the line. Underlying lower voltage lines began to overload, and protective devices began to de-energize those lines, further weakening the system. Shortly thereafter, lightning struck a second 345,000-volt line, taking that line out of service. Following the outage of the second 345,000-volt line, the remaining lower voltage transmission lines in the area became significantly overloaded and system protection began removing them from service. This cascading removal of lines from service continued until the entire northern MAPP Region was separated from the Eastern Interconnection, forming three islands and resulting in the eventual blackout of the northwestern Ontario Hydro system.</p>



Energimyndigheten

Statens energimyndighet • Box 310 • 631 04 Eskilstuna

Besöksadress Kungsgatan 43

Telefon 016-544 20 00 • Telefax 016-544 20 99

stem@stem.se • www.stem.se