Gdzie infrastruktura krytyczna jest najbardziej narażona na awarie? Odpowiedź dają mapy

Gdy latem 2024 roku huragan Beryl uderzył w Houston, nie spowodował jedynie przerw w dostawach energii elektrycznej. Ujawnił także, jak gęsta i wzajemnie powiązana jest sieć zależności, od której zależy funkcjonowanie współczesnego miasta. Szpitale straciły zasilanie awaryjne, ponieważ cysterny z paliwem nie były w stanie dotrzeć do nich zalanymi drogami. Oczyszczalnie wody przestały działać po awariach stacji elektroenergetycznych. Łączność komórkowa została przerwana, odcinając dostęp do komunikacji alarmowej w momencie, gdy była ona najbardziej potrzebna.

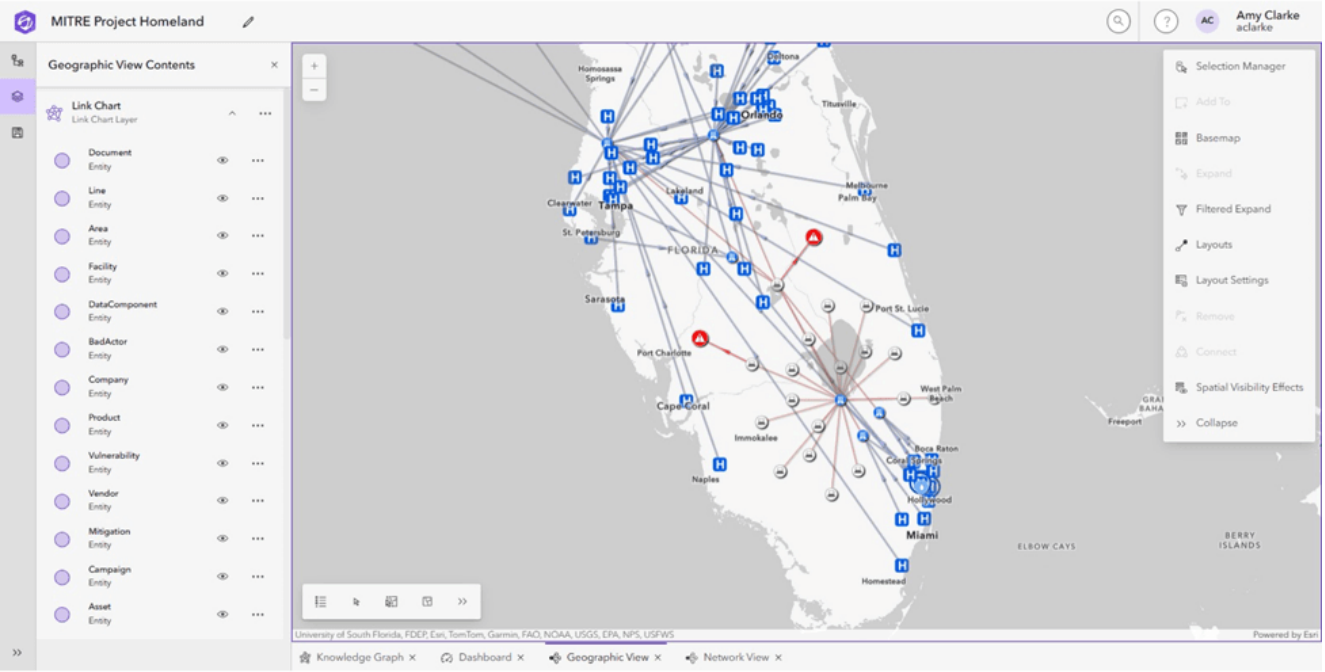
To właśnie taki scenariusz nie daje Alexowi Philpowi spać po nocach. Jako główny starszy naukowiec w MITRE, Philp od czterech lat zajmuje się analizą tego, w jaki sposób systemy infrastruktury krytycznej w Stanach Zjednoczonych są ze sobą powiązane oraz gdzie znajdują się ich największe słabości.

– Dziś jesteśmy bardziej narażeni niż w 2001 roku – mówi Philp, który znaczną część swojej kariery poświęcił ocenie podatności infrastruktury na zagrożenia. – Pytanie brzmi: jak, dysponując mniejszymi środkami, ograniczyć możliwie największe ryzyko?

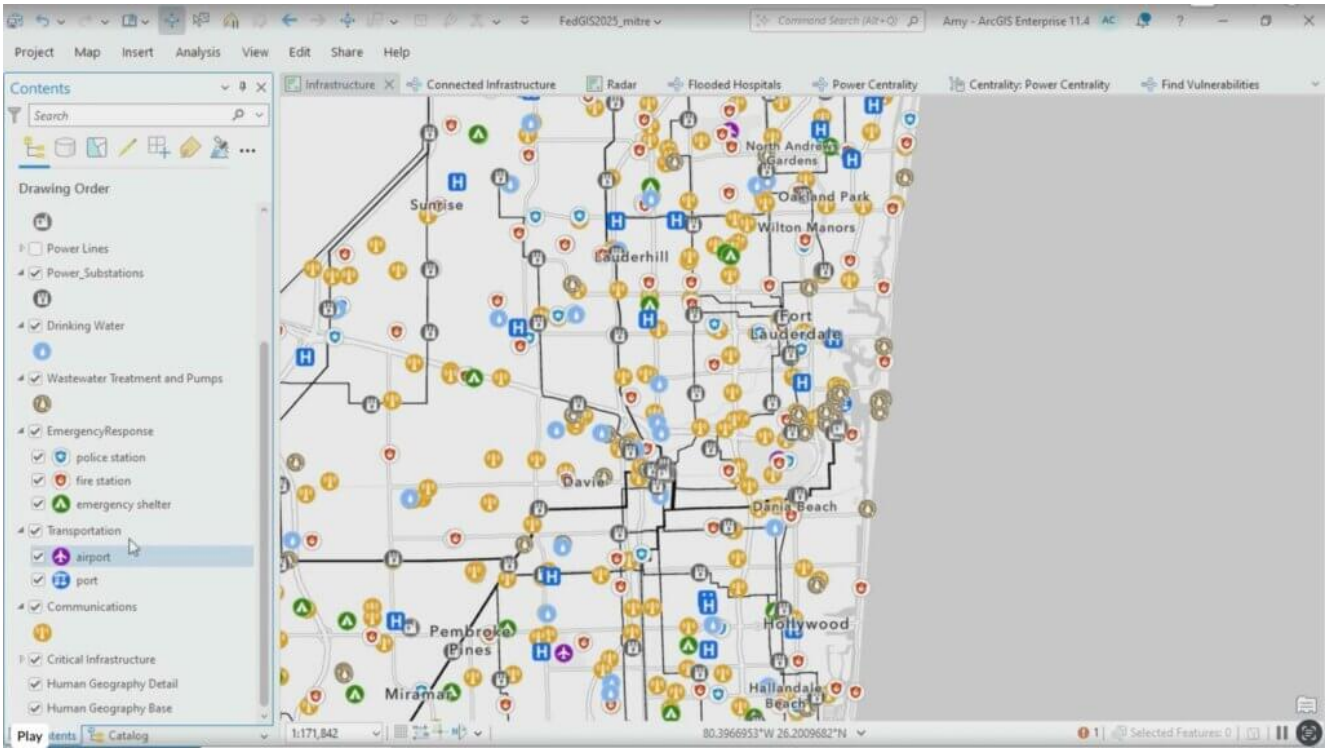
MITRE, organizacja non profit, która prowadzi sześć federalnie finansowanych ośrodków badawczo-rozwojowych, od 1958 roku zajmuje się rozwiązywaniem najtrudniejszych problemów technologicznych o znaczeniu krajowym. Obecnie podejmuje się jednego z najbardziej ambitnych wyzwań w swojej historii: stworzenia ogólnokrajowej, bardzo szczegółowej mapy złożonych

i wzajemnie zależnych relacji między kluczowymi systemami infrastruktury w USA.

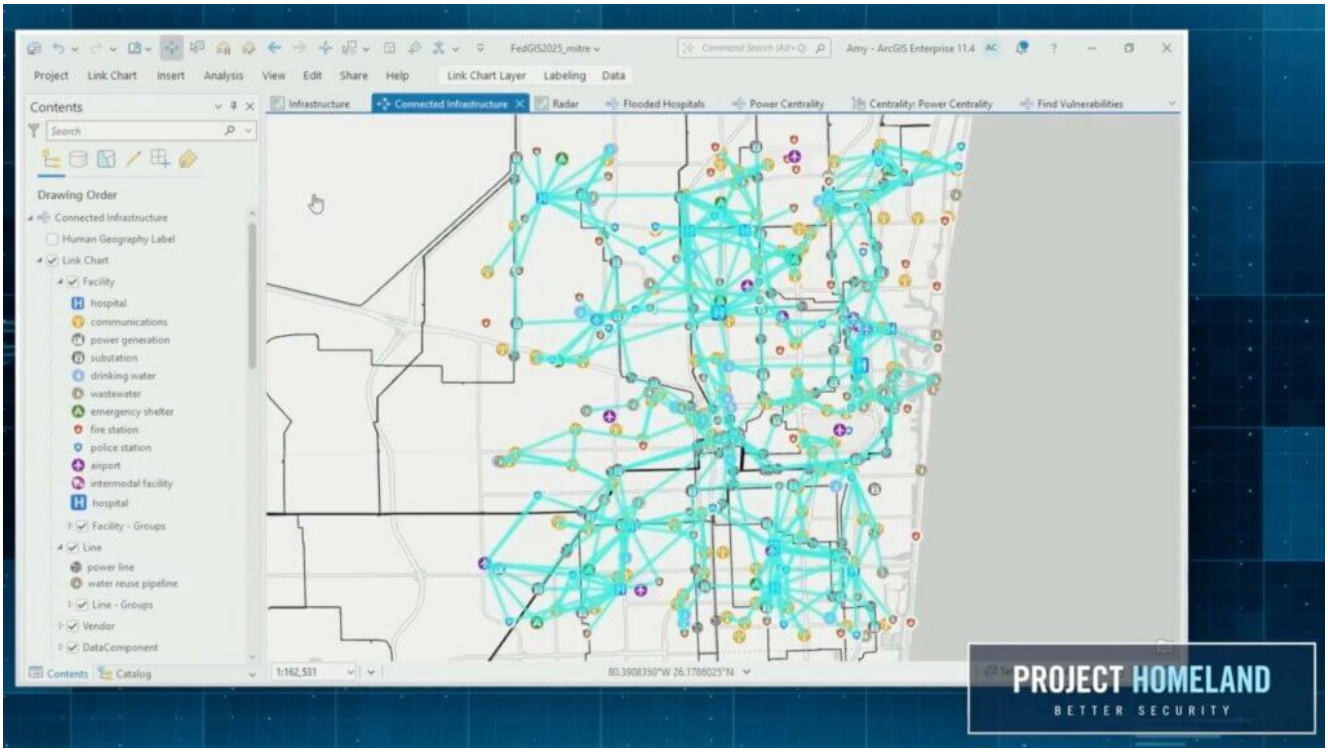
— „Nie wszystko ma takie samo znaczenie” — nie każda rura, nie każdy most, nie każda luka w cyberbezpieczeństwie — podkreśla Philp. — „Właśnie to staramy się pokazać”



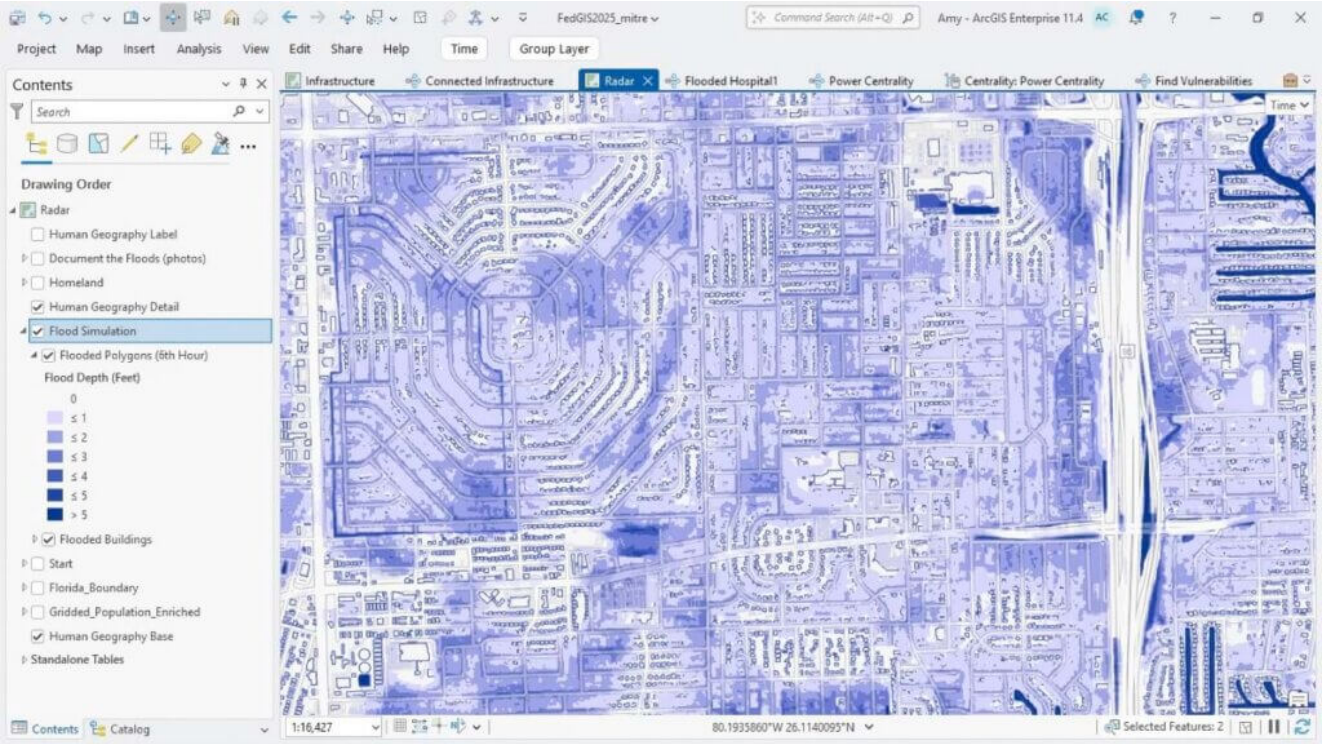
Projekt Homeland ujawnia skomplikowaną sieć zależności między kluczowymi systemami infrastruktury w południowej Florydzie, od szpitali i podstacji energetycznych po zakłady uzdatniania wody i schroniska awaryjne.



Projekt mapuje wszystkie szpitale, elektrownie, zakłady wodociągowe i schroniska awaryjne w Fort Lauderdale, ujawniając, jak pojedyncza awaria może wywołać efekt domina w połączonych ze sobą systemach podczas kryzysu.



Jasnoniebieskie połączenia pokazują, w jaki sposób systemy infrastruktury krytycznej w Fort Lauderdale są od siebie zależne. Projekt pokazuje, że nowoczesne miasta to nie tylko zbiory budynków – to żywe sieci, w których każde połączenie ma znaczenie.



Symulacja powodzi pokazuje, jak zmieniają się dzielnice podczas ekstremalnych warunków pogodowych, a ciemniejsze odcienie niebieskiego wskazują obszary, w których domy i infrastruktura krytyczna są narażone na największe ryzyko – informacje, które ratują życie.

Od ekstremalnych zjawisk pogodowych po kryzysy środowiskowe

Projekt mapowania, wewnętrznie znany w MITRE jako Project Homeland, wywodzi się z programu analiz środowiskowych prowadzonego przez tę organizację. Przez trzy lata zespół MITRE zajmujący się analizami środowiskowymi badał długotrwałe, wielkoskalowe problemy, takie jak ekstremalne upały czy niedobory wody, starając się zrozumieć ich skutki zarówno dla administracji publicznej, jak i sektora prywatnego.

– W istocie analizujemy wpływ ekstremalnych zjawisk pogodowych na złożone systemy – wyjaśnia Philp. Zespół skupił się na szczególnie trudnych scenariuszach, takich jak zatrzymujące się fronty pogodowe, które – jak podkreśla – są niezwykle trudne do przewidzenia, a jednocześnie mogą prowadzić do

katastrofalnych powodzi obejmujących wiele stanów.

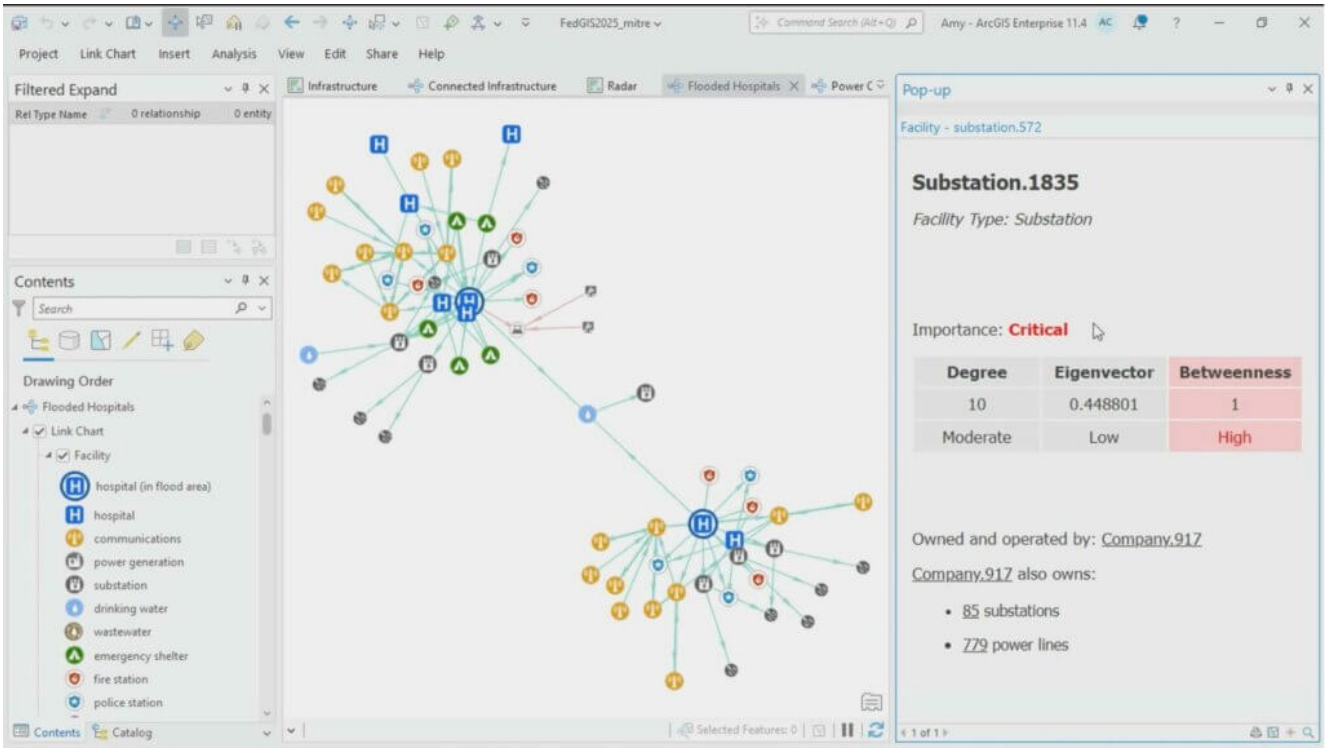
Współpracując z Ryanem Hollinsem, głównym specjalistą ds. informatyki, członkowie zespołu rozpoczęli prace nad pierwszymi prototypami. Wykorzystali do tego ArcGIS Knowledge firmy Esri – narzędzie rozszerzające system ArcGIS, umożliwiające analizę i wizualizację danych oraz relacji między nimi, co pomaga odkrywać zależności i zrozumieć, jak elementy infrastruktury są ze sobą powiązane.

– Musieliśmy zrozumieć, w jaki sposób te elementy są ze sobą powiązane – mówi Hollins, który kierował tym przedsięwzięciem. – Szpitale są zależne od dostaw energii i wody, a dzięki takim analizom możemy zrozumieć co od czego zależy.

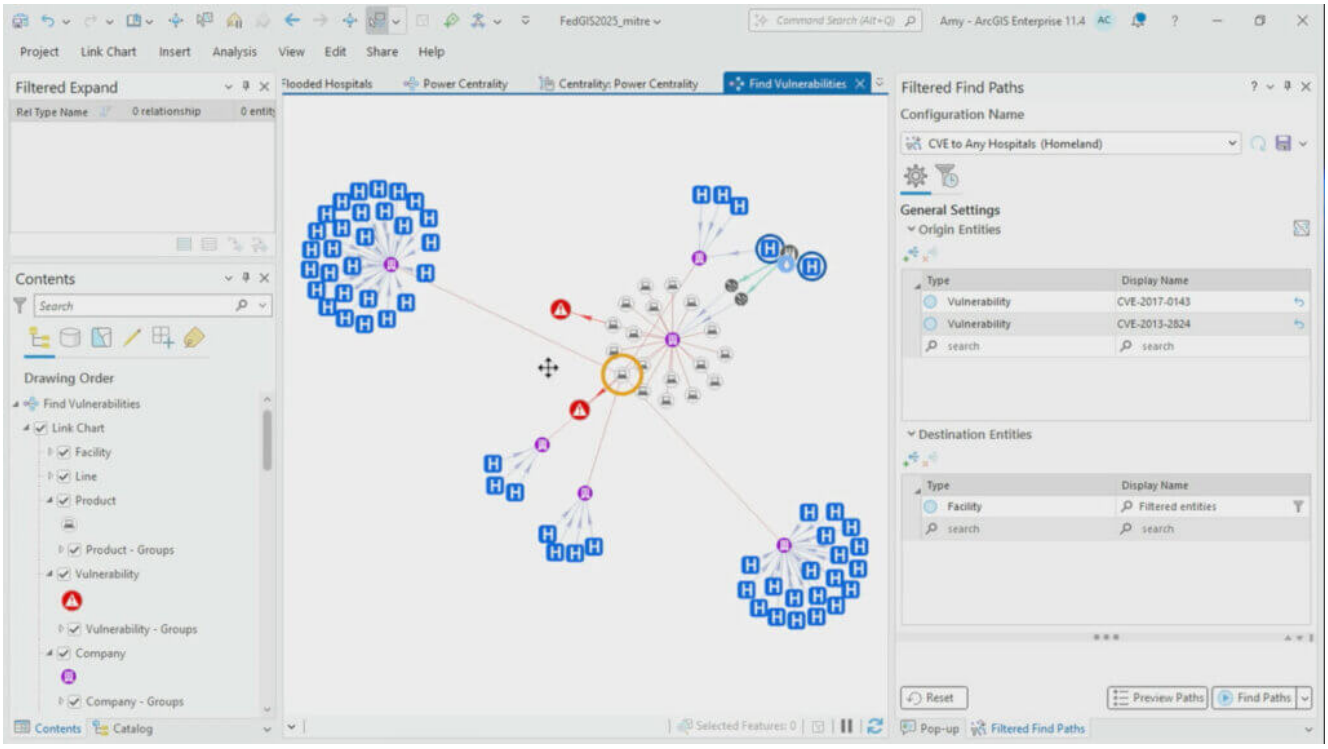
MITRE współpracowało także z Amy Clarke, starszą inżynierką ds. rozwiązań w zespole ArcGIS Knowledge firmy Esri, która wspierała projekt swoim doświadczeniem i doradztwem.

– Analiza przestrzenna pozwala ujawniać zależności, które nie są widoczne na pierwszy rzut oka – mówi Clarke. – Kluczowe jest dobranie modelu danych do pytań, na które chcemy odpowiedzieć, oraz do informacji, którymi dysponujemy. W wielu przypadkach to właśnie relacje przestrzenne pomagają zrozumieć, które elementy infrastruktury mają największe znaczenie dla funkcjonowania całego systemu.

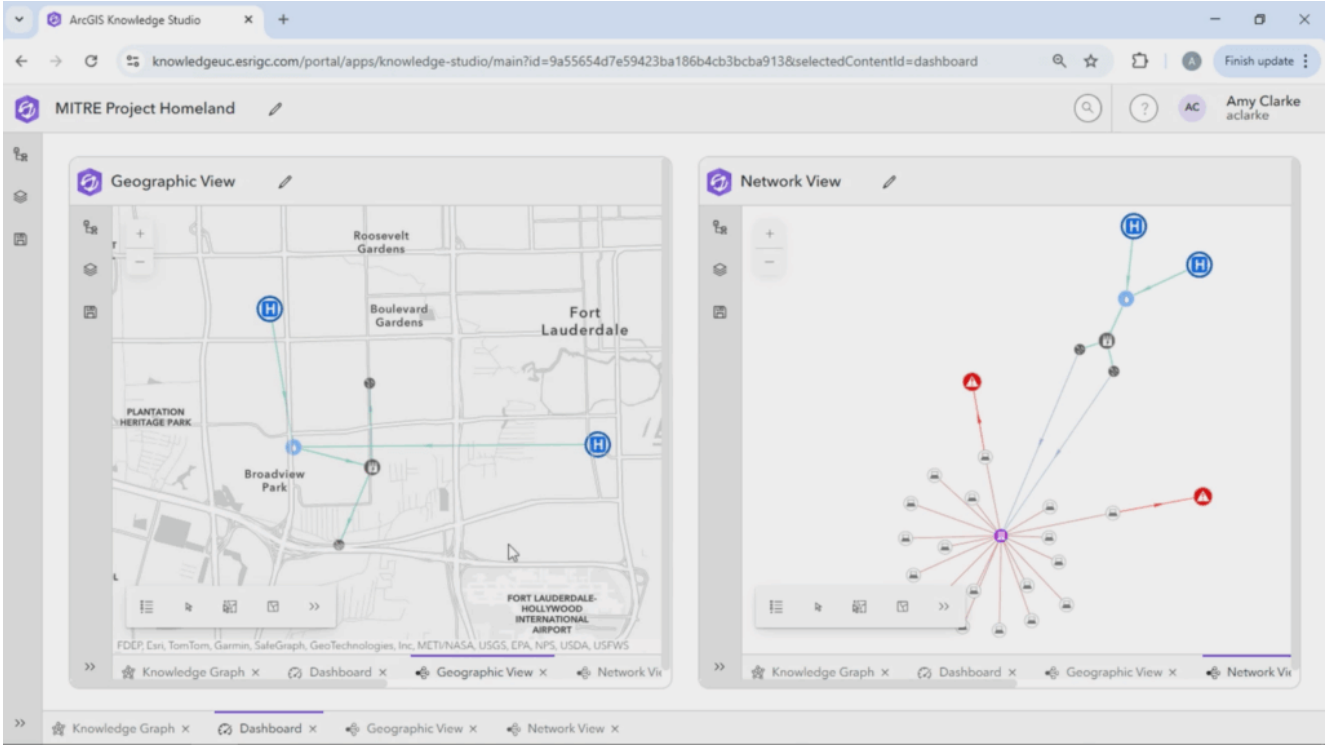
W efekcie powstał model pokazujący powiązania między elementami infrastruktury, który umożliwia tworzenie dynamicznych wizualizacji prezentujących, gdzie znajduje się infrastruktura krytyczna, jak jest ze sobą powiązana oraz w których miejscach te powiązania tworzą największe ryzyko awarii.



Projekt Homeland identyfikuje podstację 1835 jako „krytyczną” lukę o wysokim stopniu pośrednictwa – co oznacza, że jej awaria miałaby wpływ na wiele innych silnie połączonych węzłów, potencjalnie paraliżując infrastrukturę regionalną.



Narzędzie „Find Vulnerabilities”śledzi, w jaki sposób cyberzagrożenia (czerwone trójkąty) mogą rozprzestrzeniać się z podatnych systemów do krytycznych klastrów szpitalnych, ujawniając ukryte wektory ataków, które zagrażają infrastrukturze zdrowia publicznego.



ArcGIS Knowledge Studio przekształca złożoną analizę infrastruktury w informacje, które można udostępniać, dając osobom zarządzającym sytuacjami kryzysowymi internetowy wgląd w słabe punkty ich społeczności i krytyczne punkty połączeń.

Relacje czy lokalizacja? Dwa sposoby patrzenia na dane

Pierwsze wyniki okazały się niepokojące. Zespół odwzorował zaledwie osiem kluczowych warstw infrastruktury w skali całych Stanów Zjednoczonych – obejmujących m.in. energetykę, wodę, sieci szerokopasmowe i transport. Już to wystarczyło, by powstał model zależności, który ujawnił ogromną liczbę wzajemnych powiązań. Skala infrastruktury oraz złożoność relacji między jej elementami były znacznie większe, niż się spodziewano.

Model ten pozwolił nie tylko zobaczyć system jako całość, ale także przyjrzeć się pojedynczym obiektom – na przykład szpitalowi – w kontekście ich zależności od dostaw wody i energii. Analiza takiego układu relacji daje zupełnie inną perspektywę niż sama mapa. Zamiast wyłącznie lokalizacji widzimy powiązania między elementami systemu, których

znaczenie może się różnić.

Analitycy zazwyczaj korzystają z mapy i schematu powiązań równolegle – mapa pokazuje, *gdzie* znajdują się poszczególne obiekty, natomiast schemat relacji pomaga ocenić, *jak ważne są te powiązania* i *jak podatne są na zakłócenia*. Przy dużej skali i złożoności danych opieranie się wyłącznie na analizie wizualnej nie zawsze wystarcza, by dostrzec kluczowe wzorce lub najistotniejsze elementy systemu. W takich sytuacjach wykorzystywane są mechanizmy analizy relacji dostępne w ArcGIS Knowledge, które automatycznie wskazują najbardziej krytyczne elementy całego układu.

Połączenie mapy i analizy relacji pozwala lepiej zrozumieć nie tylko infrastrukturę techniczną, ale także powiązania między ludźmi – na przykład wysoko wykwalifikowanymi pracownikami odpowiedzialnymi za jej utrzymanie. Analiza relacji pokazuje, kto z kim współpracuje, natomiast mapa wskazuje, gdzie te osoby pracują, a w niektórych przypadkach pozwala nawet śledzić ich położenie w czasie rzeczywistym.

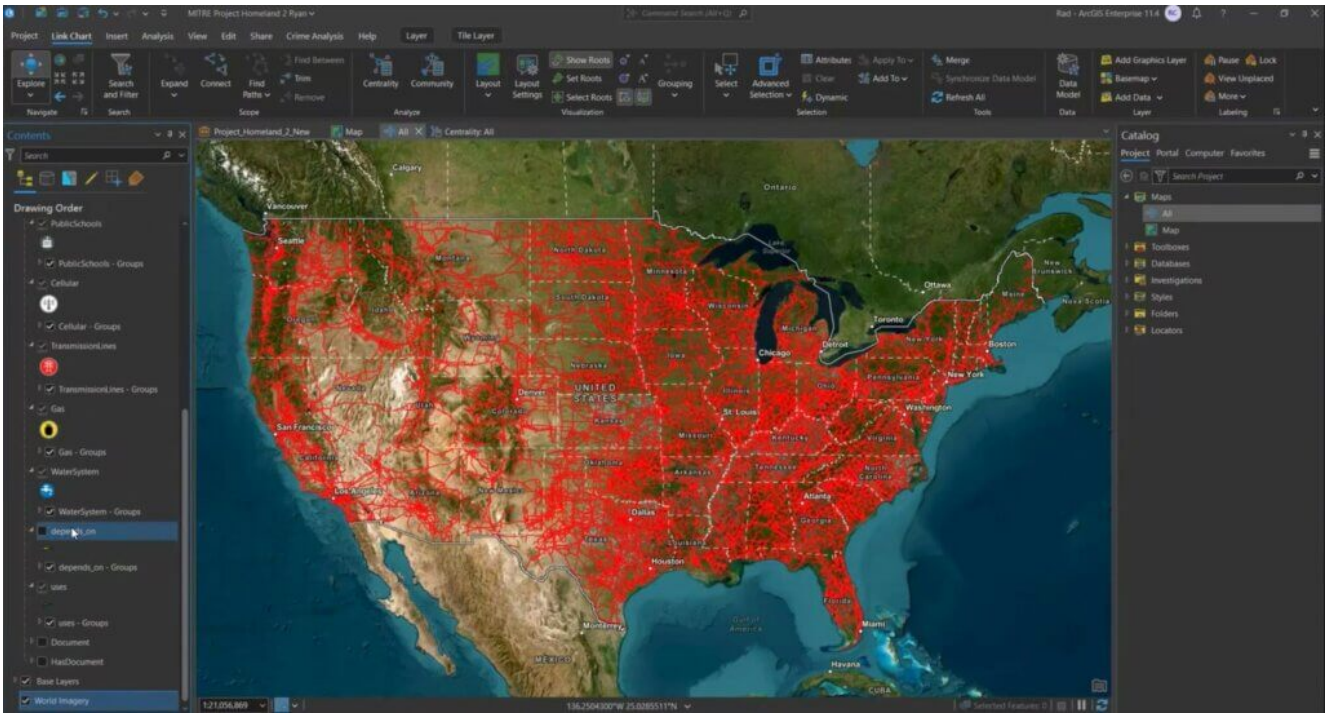
Jak zauważa Philp, tradycyjne podejście do ochrony infrastruktury polegało na traktowaniu każdego systemu osobno – energii, wody, transportu czy łączności – oraz na ich utrzymywaniu w oderwaniu od siebie, w tzw. *podejściu silosowym*. Tymczasem rzeczywistość jest znacznie bardziej złożona i niesie ze sobą większe ryzyko awarii. Dopiero połączenie map i analizy relacji pozwala spojrzeć na te systemy całościowo, wykorzystując zarówno wiedzę geograficzną, jak i metody analizy zależności między danymi.

Philp odwołał się przy tym do obserwacji biologa E.O. Wilsona, który podkreślał, że przyszłość będzie należeć do tych, którzy potrafią rozumieć złożone systemy jako całość, a nie analizować je w oderwaniu od siebie (patrz ramka) .Wilson zasłynął badaniami z zakresu socjobiologii i myślenia systemowego, promując interdyscyplinarne podejście do analizy skomplikowanych zjawisk ekologicznych i społecznych.

Właśnie takie podejście okazało się kluczowe dla powodzenia projektu Project Homeland. Zespół zebrał szczegółowe dane dotyczące infrastruktury krytycznej, a następnie wykorzystał narzędzia analizy zależności dostępne w ArcGIS Knowledge, aby zbadać, jak poszczególne elementy są od siebie zależne. Pozwoliło to ujawnić sieć podatności – od poziomu ogólnokrajowego po poziom lokalny. Przykładowo w Fort Lauderdale system potrafił pokazać, jak zalanie jednej stacji elektroenergetycznej w danej dzielnicy może zakłócić działanie oczyszczalni wody, szpitali oraz służb ratunkowych w całym regionie.

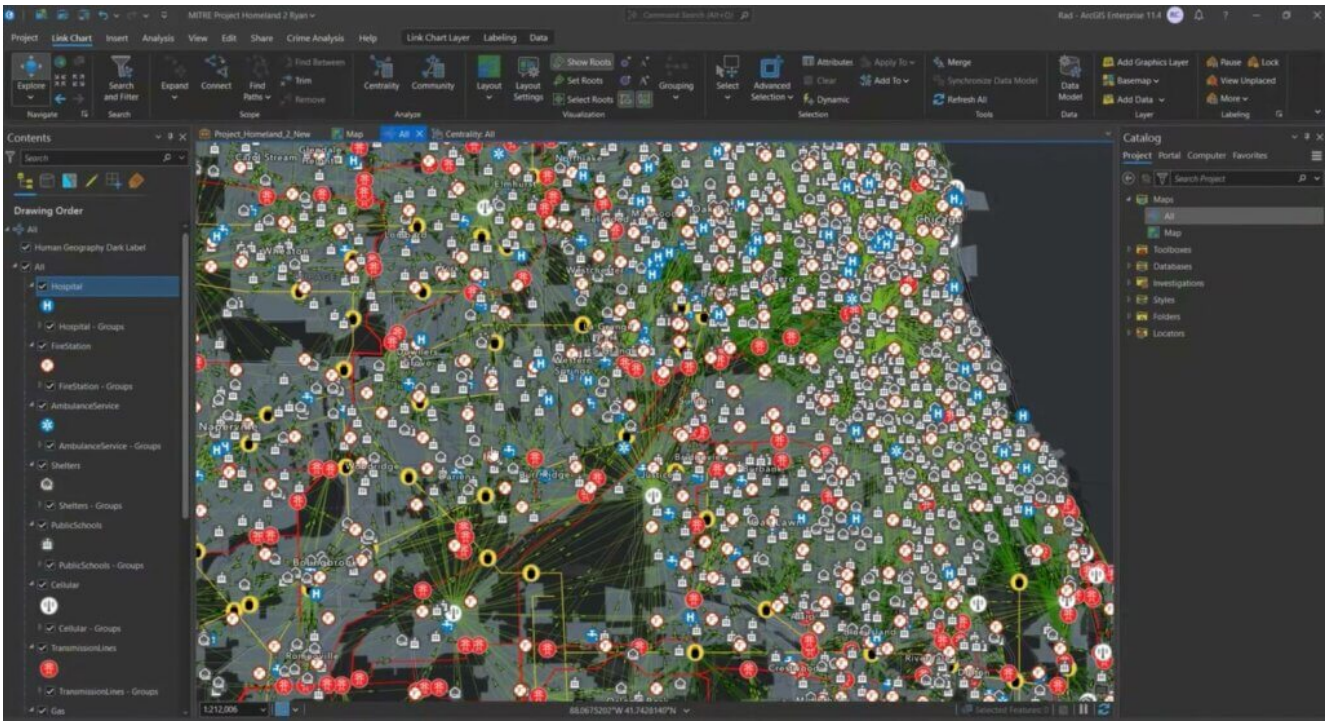
Wartość tego podejścia podkreśla dr Mark Peters, prezes i dyrektor generalny MITRE:

– Gdy mierzymy się dziś ze złożonymi wyzwaniami, bez nowoczesnych narzędzi GIS, które pozwalają zrozumieć je w kontekście przestrzennym, nie podchodzimy do problemu we właściwy sposób.

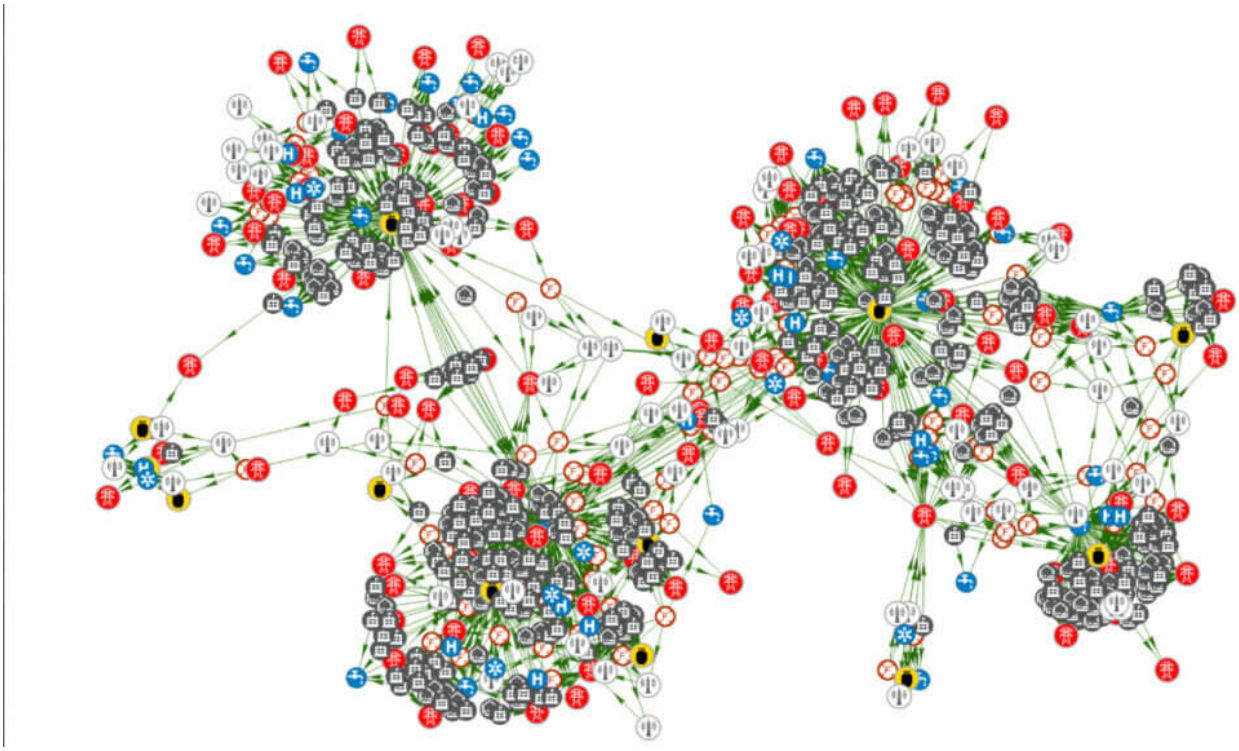


Projekt ukazuje złożoną sieć linii przesyłowych energii elektrycznej obejmującą kontynentalną część Stanów Zjednoczonych. Ten kompleksowy obraz pokazuje, w jaki sposób infrastruktura energetyczna stwarza kaskadowe zagrożenia – gdzie awaria jednej podstacji może spowodować awarie w wielu

stanach, wpływając na szpitale, stacje uzdatniania wody i sieci cyfrowe, od których zależne są społeczności.



Projekt Homeland przybliża obraz z poziomu krajowego do lokalnego, pokazując wzajemnie połączone systemy krytyczne w Chicago. Szpitale, remizy strażackie, wieże komórkowe i linie energetyczne tworzą zależności, w których jedna awaria może wywołać kaskadę awarii w wielu systemach.



Wykres wiedzy ujawnia ukryte powiązania między systemami infrastruktury krytycznej. Każdy węzeł reprezentuje szpitale, remizy strażackie, sieci energetyczne i sieci komunikacyjne.

Zielone linie pokazują zależności, które w sytuacjach awaryjnych powodują kaskadowe ryzyko.

Pośrednik godny zaufania

Pozycja MITRE jako operatora federalnie finansowanych ośrodków badawczo-rozwojowych daje organizacji wyraźną przewagę na kilku płaszczyznach.

W przeciwieństwie do firm komercyjnych MITRE nie może konkurować z rynkiem, co wynika bezpośrednio z obowiązujących przepisów. Dzięki temu pełni rolę zaufanego pośrednika, który może współpracować zarówno z instytucjami publicznymi, jak i partnerami z sektora prywatnego.

— Jesteśmy niezależną stroną trzecią — podkreśla Philp. — Najważniejszym elementem naszej wiarygodności jest zaufanie.

MITRE regularnie otrzymuje wrażliwe dane od linii lotniczych, przedsiębiorstw energetycznych oraz innych operatorów infrastruktury krytycznej — informacje, których nie przekazaliby nikomu innemu. Priorytetem organizacji nie jest zysk, lecz zmniejszanie ryzyka poważnych, powiązanych awarii.

To zaufanie obejmuje również współpracę MITRE z partnerami technologicznymi z sektora prywatnego. Organizacja potrzebuje zaawansowanych, sprawdzonych technologii od partnerów — takich jak Esri — którzy są równie zaangażowani w ochronę wrażliwych danych klientów.

Lokalne zdarzenia, ogólnokrajowe skutki

Kluczowa infrastruktura USA stoi w obliczu rosnących wyzwań— od nasilających się ekstremalnych zjawisk pogodowych po coraz bardziej zaawansowane zagrożenia cybernetyczne. Jednocześnie branża ubezpieczeniowa wycofuje się z obszarów obarczonych

wysokim ryzykiem, przenosząc coraz większe koszty na podatników.

– Tempo zmian – zarówno jeśli chodzi o zagrożenia, jak i technologie – sprawia, że nieustannie próbujemy nadążyć za rzeczywistością – mówi Peters. – Pojawiają się przeciwnicy i wyzwania, które rozwijają się szybciej, niż są w stanie poradzić sobie z nimi tradycyjne metody. Dlatego musimy na nowo przemyśleć sposób, w jaki rozumiemy i chronimy te wzajemnie powiązane systemy.

Dla MITRE to właśnie takie przedefiniowanie podejścia jest kluczowym celem. Może ono zostać osiągnięte poprzez szersze stosowanie całościowej analizy infrastruktury oraz upowszechnienie dostępu do kluczowych danych.

Mapy i analizy relacji są niezbędnymi narzędziami, ale służą czemuś więcej niż samej analizie – mają prowadzić do podejmowania lepszych decyzji. Philp wyobraża sobie system, w którym lokalne służby zarządzania kryzysowego – zarówno z dużych metropolii, jak i mniejszych miast – mogą wnosić własne dane i wiedzę, a jednocześnie korzystać z ogólnokrajowego obrazu wzajemnych zależności infrastruktury.

Wraz z rozwojem projektu Project Homeland Philp nie traci z oczu szerszej perspektywy:

– Naszym zadaniem jest próba zrozumienia, jak realnie poprawić jakość życia milionów Amerykanów.