

# Тимчасова повітряна лінія електропередач на основі технології **UMKW**, як сучасне рішення в побудові мереж

За матеріалами конференції « Енергетичні повітряні та кабельні лінії високих та надвисоких напруг» м. Вісла Польща жовтень 2019 р.

магістр-інженер Гжегож Ковальчик (Grzegorz Kowalczyk)

переклад та технічне редагування магістр-інженер Ян Штефуник (Jan Sztetfunyk)

Тимчасові лінії ERS (Emergency Recovery System) - це лінії, засновані на легкій та швидкій технології складання модульних тимчасових опор. Вони використовуються для "тимчасової" заміни типових конструкцій мережі передачі або розподілу в планових ситуаціях, пов'язаних з необхідністю відновлення існуючих ліній, а також незапланованих ситуацій, що виникають внаслідок аварії мережі.

## Області застосування:

а) реконструкція ліній електропередач шляхом заміни пошкоджених опор у разі несподіваних збоїв, що трапляються все частіше внаслідок зміни клімату (урагани та обмерзання) та внаслідок старіння повітряних ліній;

- 08.04.2008 р. – blackout (масове відключення) агломерації Щецина
  - 13 ліній 110 kV
  - 2 лінії 220 kV
- 08-10.01.2010 р. – масові аварії на Сілезії (Śląsk/Małopolska)
  - 31 лінія 110 kV (ENION SA)
  - 4 лінії 220 kV
- 11-12.08.2017 р. – масові аварії на півночі Польщі
  - PSE SA: - 7 ліній 220 kV, в тому числі 7 опор на лінії Żydowo-Gdańsk, 2 лінії 400 kV
  - ENEA Operator Sp. z o.o.: - 24 ліній 110 kV, в тому числі знищення 70 опор
  - TAURON Dystrybucja SA: - 10 ліній 110 kV
  - PGE Dystrybucja SA: - 3 лінії 110 kV
- 05.10.2017 р. – ураган Ксаверій (Ksawery)
  - PSE SA: - 20 ліній 220 kV, 2 лінії 400 kV
  - ENEA Operator Sp. z o.o.: - 48 ліній 110 kV
  - TAURON Dystrybucja SA: - 73 ліній 110 kV
- 29.10.2017 р. – ураган Гжегож (Grzegorz)
  - ENEA Operator Sp. z o.o.: - 12 ліній 110 kV
  - TAURON Dystrybucja SA: - 37 ліній 110 kV
  -

Ще один оператор PGE Dystrybucja SA надала в рапорті до Кабінету Міністрів Польщі загальну кількість - 88 аварій на мережах 110 кВ в 2017 році.

Вищенаведений неповний перелік подій вказує на значний потенційний попит на універсальну доступну технологію ERS у всьому діапазоні напруги. Можливість використання конструкції системи ERS у вищезазначених ситуаціях дозволила б швидко відновити пропускну здатність лінії за нормальних умов.



Фото. 1 Каскадне знищення проміжних опор 124÷129 на лінії 220 kV Morzyczyn-Police [1]

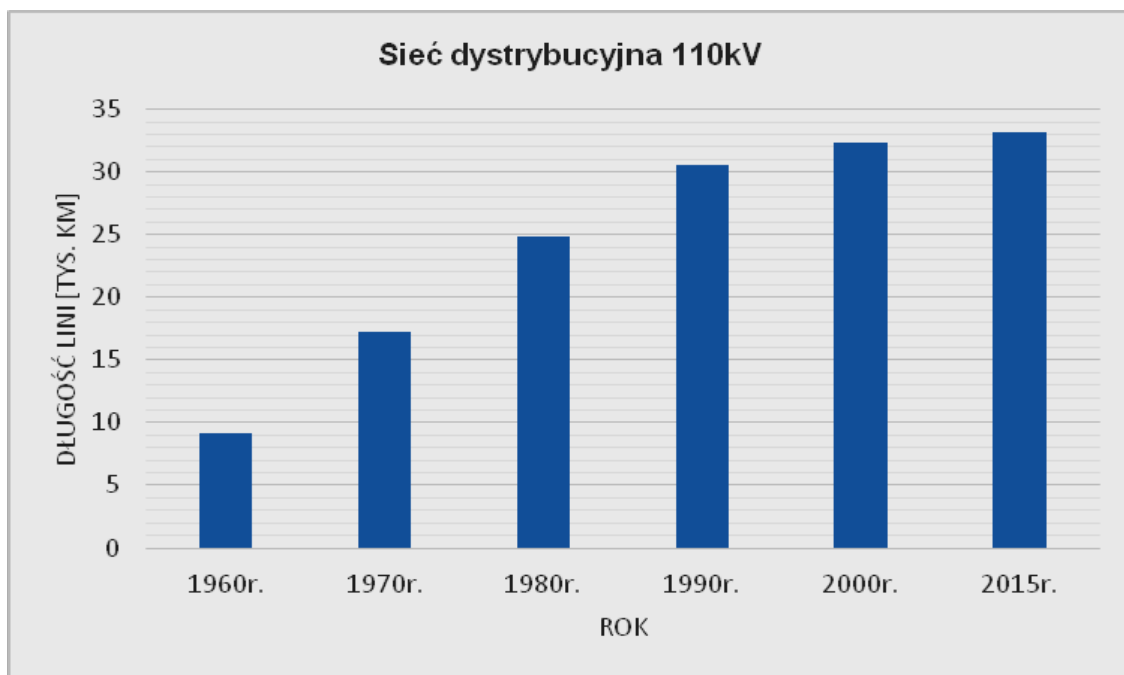


ФотоFot. 2 Знищена інфраструктура після урагану Ксаверій (Orkan Ksawery). Район розподільчих мереж Гожув (Gorzów) (матеріали групи Enea)

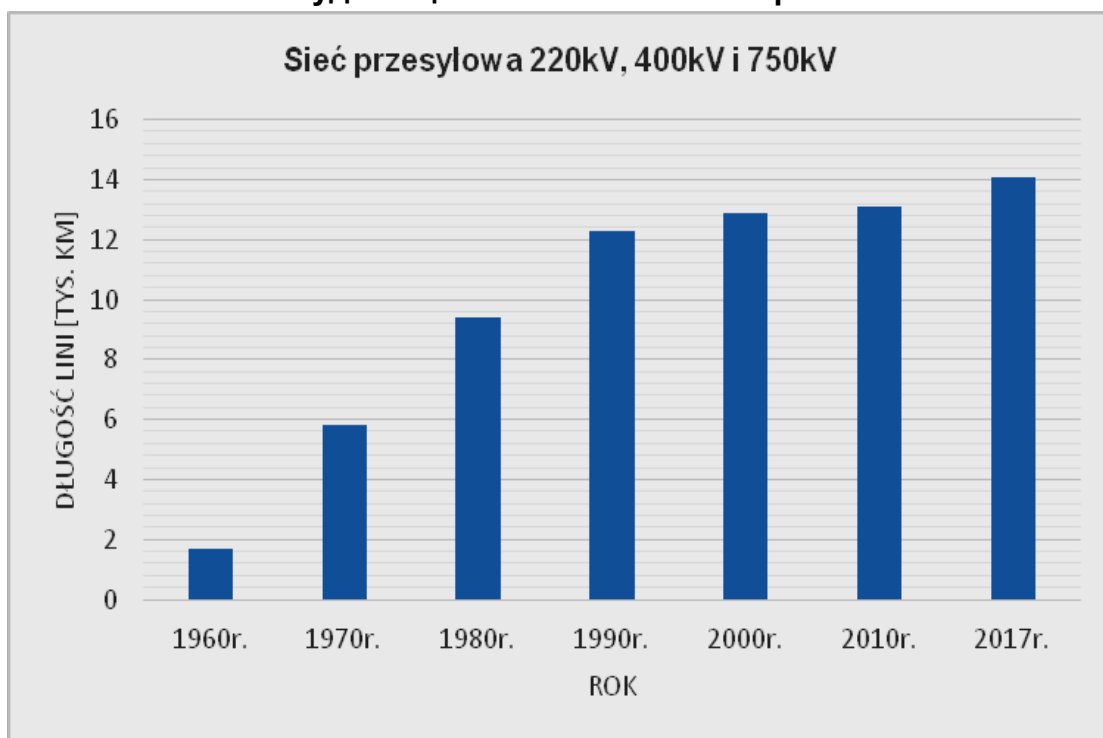
б) підтримання пропускної спроможності лінії шляхом побудови «бай пасу» – обхідної лінії в рамках запланованих будівельних робіт, пов'язаних з реконструкцією / будівництвом ліній електропередач високої ВН та надвисокої НВН напруги, які можуть проводитися в оптимальний та зручний попередньо запланований час, бути добре організаційно та технічно підготовленими.

Технічний стан розподільної мережі в значній мірі може бути визначений шляхом визначення дат будівництва розподільних мереж ВН та НВН.

**Розподільчі мережі Польщі – 110 кВ за роками їх будівництва вказані в кілометрах**



**Магістральні лінії електропередач Польщі – 220, 400 та 750 кВ за роками їх будівництва вказані в кілометрах**



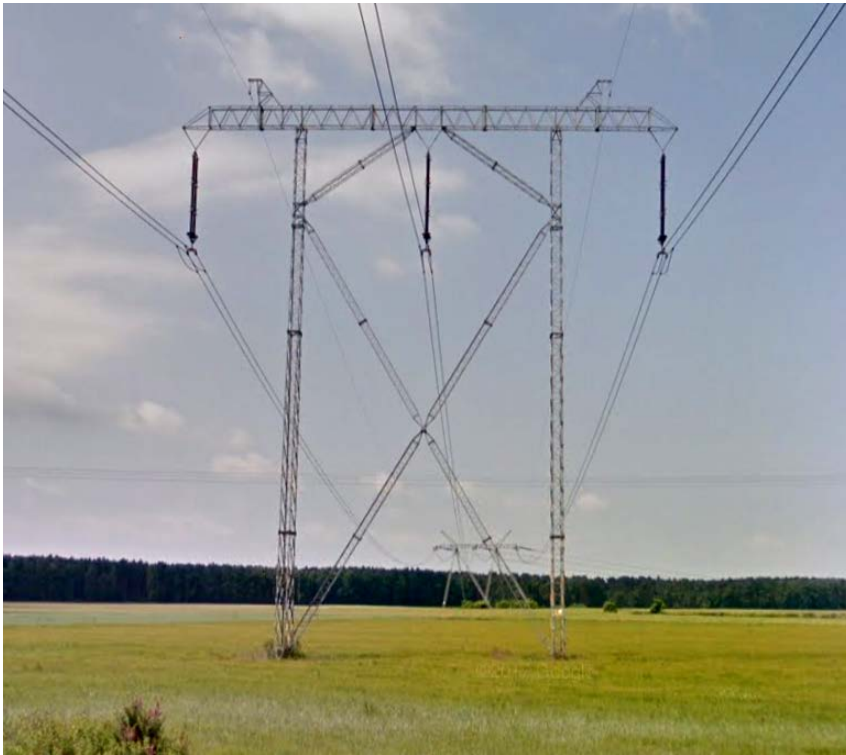


Фото Fot. 3 Повітряна лінія 400 kV Pasikurovice – Dobrzeń (Mikulowa – Joachimów), рік будівництва 1964)

### **Перспективи застосування:**

На основі аналізу широкого спектру статистичних даних та тенденцій, пов'язаних із спостереженням за напрямком модернізації магістральних та розподільчих електромереж в країнах-членах Євросоюзу, а також власного досвіду, правління компанії ARINET Sp. z o.o. вирішило реалізувати довгострокову стратегію розвитку, що полягає у вивченні доступних технологій, збору досвіду та розробці та впровадженню широкого використання технології ERS - оптимального для технічних рішень, що застосовуються в Польщі.

Підстави, на яких базується аналіз необхідності подальшого використання тимчасових ліній, є:

- визначені цілі енергетичних компаній у межах мінімізації термінів відключення (планових та аварійних);
- труднощі з отриманням дозволу на довгострокове відключення ліній для цілей ремонтів та модернізацій;
- збільшення вартості планових відключень;
- швидкозростаючі витрати на утримання бригад, постійно готових до змін строків відключення лінії для цілей ремонту;
- правові вимоги (захист критичної інфраструктури).

Ще в 2013 році проєктувальники ARINET першими в Польщі розробили систему тимчасової байпасної (обхідної) лінії для повітряної лінії високої напруги 220 кВ D-205 Біскупіце-Клечина (Biskupice-Klęcina) для потреб інвестицій TAURON Dystrybucja SA, що передбачала перебудову одноколлової лінії 220 кВ на триколлову лінію 1x220 кВ та 2x110 кВ. Технологічні рішення ERS були використані при проєктуванні та будівництві, що дозволило забезпечити безперервне електропостачання однієї з електростанцій 220/110 кВ, чутливих для електроживлення Вроцлава, і одночасно дало можливість звільнити площу, необхідну для своєчасного будівництва та введення в експлуатацію логістичного центру Amazon. Тимчасова лінія експлуатувалась 7 місяців.

На основі накопиченого досвіду, пов'язаного із використанням вільної в доступі технології інших виробників, а зокрема в області обмеження технічних знань про систему (граничні параметри, обмеження в статичному аналізі, оптимізації конструкції, технології монтажу) та відсутності доступних комплексних рішень, адаптованих до стандартних мережевих систем, Правління компанії ARINET Sp. z o.o. вирішило з нуля розробити комплексне технічне рішення, оптимізоване для потреб Національної енергосистеми Польщі на основі технології UMKS (Uniwersalnych Modułowych Konstrukcji Wsporczych) - універсальних модульних несучих конструкцій.

Основа для опрацювання технології UMKW це:

- універсальність;
- модульність;
- оптимізація для стандартних геометричних систем опорних конструкцій ВН та НВН напруг, що застосовуються в Польщі;
- відповідність вимогам польських норм - PN, підтверджених польовими випробуваннями (2 опори для кожного рівня напруги);
- гнучке управління логістикою;
- легкий монтаж та демонтаж;
- простота виконання оглядів під час роботи лінії.

На підставі результатів попередніх проектних робіт, що здійснюються виключно за рахунок власних ресурсів, проектна група ARINET розробила та подала заявку на співфінансування до NCBiR - Національного центру досліджень та розробок, та отримала дофінансування проекту в рамках підпрограми 1.1.1 Програми операційного інтелектуального розвитку 2014-2020 рр. Промислові дослідження та розробки, що проводяться підприємствами ,

На основі позитивної рекомендації NCBiR, ARINET Sp. z o. o. реалізує проект досліджень та розробок № POIR.01.01.01-00-0792 / 17, що фінансується за рахунок Європейських фондів:

"Науково-дослідні та конструкторські роботи для Emergency Restoration System загальної системи відновлення надзвичайних ситуацій для потреб вітчизняного ринку електроенергії, заснованої на технології універсальних модульних несучих конструкцій".

В рамках проекту ARINET розробляє в повному спектрі застосувань інноваційну технологію, яка дозволяє негайно побудувати т.зв. модульні тимчасові опори в будь-якій зоні без необхідності застосування важкої будівельної техніки. Інновація базується на комплексному підході, пов'язаному з аналізом базової опори в різних комбінаціях навантажень та випробуванні розроблених опор для тимчасових ліній на 110 кВ, 220 кВ та 400 кВ. Проект передбачає проведення детального технічного аналізу та механічних навантажень компонентів тимчасових опор та тестування їх у близьких до реальних умовах. У рамках досліджень проведено чисельне моделювання та повномасштабне тестування прототипів та матеріальних елементів технології на основі сталевих універсальних модульних несучих конструкцій (UMKW). Важливим елементом розвитку технології є використання повноцінної дослідної (демонстраційної) лінії в реальних умовах у рамках запланованої або аварійної реконструкції ліній ВН та НВН напруг.

### **Полігон:**

Для отримання ефекту всебічності були розроблені та випробувані стандартні решітчасті опори 2x110 кВ на основі діючих нормативних умов. Були проведені додаткові руйнівні випробування на нестандартні умови, що відповідають тимчасовим умовам під час встановлення системи ERS, не визначеної у стандартах, - відпайка тимчасової лінії від однієї з повітряної лінії.

Загалом було проведено 10 випробувань опор для систем нормативних та ненормативних навантажень напругою від 110 кВ до 400 кВ, що дало змогу отримати унікальний досвід членами команди проекту в будівництві опор, які закріплені відтяжками, і статичної роботи системи - стандартної решітчастої опори - з відпайкою на основі тимчасової лінії.

### **Прототипи:**

Для цілей проведення випробувань було виготовлено та змонтовано шість прототипів опор на основі технології UMKW ERS, по дві опори для кожного рівня напруги. Монтаж прототипів разом із

встановленням арматури та підключенням дослідницького обладнання здійснювалося на навчальному майданчику без проблем, що підтверджувало високу якість розробленої технічної та монтажної документації.

Приклади конструкцій, що входять до програми випробувань:

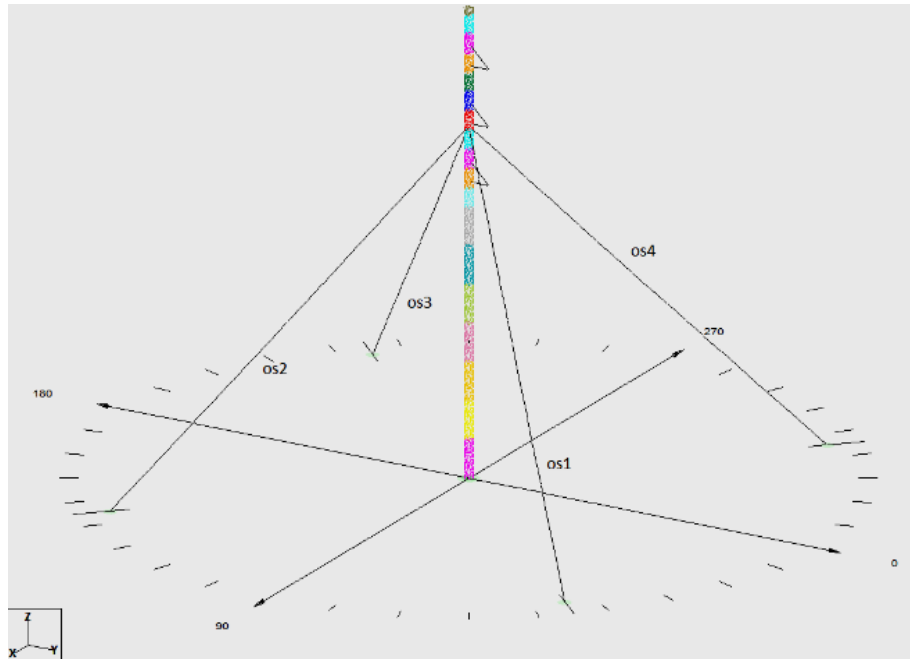


Рис. 4 – Проміжна опора 178° 110 kV з вертикальним розміщенням проводів – аналітична модель.

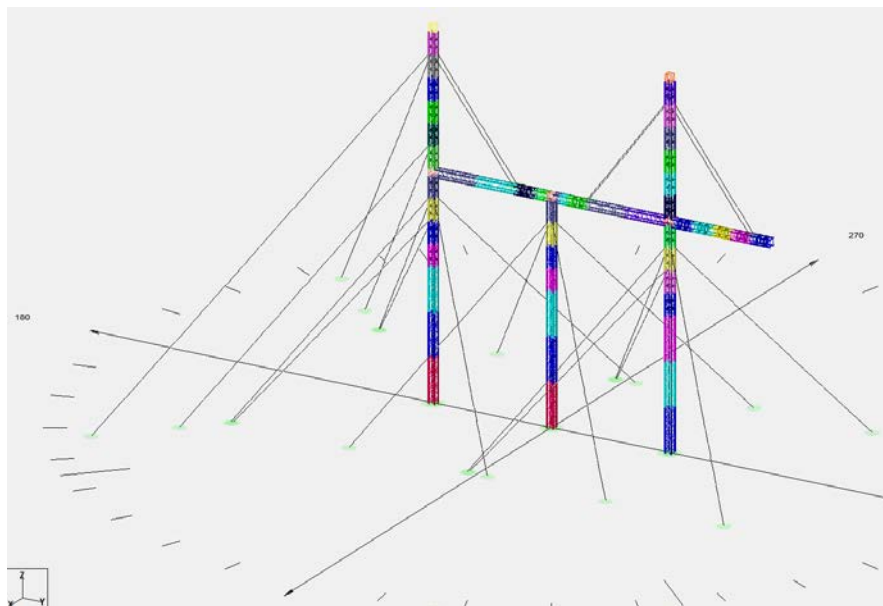


Рис 5 – Анкерно-кутова опора 150° 400 kV з горизонтальним розміщенням проводів – аналітична модель

### ***Технічні випробування B+R:***

Перший, основний обсяг роботи - промислові дослідження, які включали, серед іншого:

- відповідність конструкції необхідним розмірам (відстань проводів від тіла опори та між собою, довжина прольоту, напруженість робочих та грозозахисних проводів),

- статичний аналіз стандартних опор у нормативних умовах (визначення нульового стану) та ненормативних (пристосування для роботи з тимчасовою лінією в некаталогічній конфігурації - ненормативні комбінації),

- створення технічної документації, необхідної для виготовлення прототипу та проведення повномасштабних випробувань,
- повномасштабні польові випробування нульового стану стандартних двоколієних решітчастих колон при нормативних умовах та на умовах співпраці з тимчасовою лінією,
- повномасштабні випробування на полігоні дослідних зразків силуетів тимчасових колон 110 кВ, 220 кВ, 400 кВ за технологією UMKW в нормативних умовах,

Розробка детальної моделі-прототипу та підготовка документації до її випробування на полігоні вимагали вирішення ряду теоретичних та практичних завдань. На цьому етапі команда інженерів та експертів провела численні варіанти аналізу адаптації технічних рішень до національних умов, включаючи:

- спосіб підключення ізоляторів і опор до конструкції,
- підбір та реалізація натягів початкових відтяжок,
- взаємодія між силами в окремих прольотах та розпушування в прольоті
- взаємодія між силами тяжіння в прольоті та внутрішніми силами в структурі,
- зміщення структури на окремих рівнях (вершина, болт, прив'язка),
- відносини між силами тяжіння в прольоті та зміщеннями в конструкції.

Серія прототипів відповідно до прийнятої програми досліджень включала опори - вертикальні (так звані «шпильки») та плоскі (так звані «портали») на напруги 110 кВ, 220 кВ і 400 кВ.

Приклади силуетів, включених у дослідницьку програму:

:



Фото. 6 – Анкерно-кутова опора 150° 400 кВ з горизонтальним розміщенням проводів на випробувальному полігоні



Фото 7 – Проміжна кутова опора  $90^\circ$  220 кВ з горизонтальним розміщенням проводів на випробувальному полігоні



Фото 8 – Анкерно-кутова опора  $150^\circ$  220 кВ з горизонтальним розміщенням проводів на випробувальному полігоні, на задньому плані конструкції для випробування





Фото 9 - Анкерно-кутова опора 150° 220 кВ з горизонтальним розміщенням проводів на випробувальному

#### **Аналіз структурних зміщень в конструкції:**

У рамках аналізу результатів польових випробувань було проведено порівняння теоретичних моделей зі значеннями, виміряними при навантаженні конструкції.

На основі розроблених теоретичних моделей, а також спостереження та вимірювання прототипів опор:

- підтверджена експериментально правильність теоретичних моделей;

- була підтверджена узгодженість системних компонентів на основі повторних пробних зборок;
- експериментально підтверджено стійкість безфундаментних конструкцій в системі якірного кріплення за допомогою відтяжок;
- оптимальним чином був розроблений спосіб стабілізації конструкції (проміжна опора 110 кВ із використанням лише 4 відтяжок);
- експериментально перевірено взаємодію всіх компонентів системи;
- стійкість конструктивних елементів до руйнування та зносу була підтверджена випадковим вибором модулів UMKW при їх багаторазовому використанні в прототипі;
- перевірялась експериментально з позитивним результатом можливість асиметричного ненормованого навантаження структури стандартних ґратчастих опор у перехідній системі, тобто при перевищуванні робочих проводів без демонтажу кабелів у секції;

#### Подальші роботи з розвитку системи :

Наступним етапом впроваджуваного проекту досліджень та розробок є роботи, що включають:

- оптимізацію технічних рішень на основі розробки технічної та монтажної документації демонстраційної версії UMKW,
- створення повної пілотної лінії ERS на базі системи UMKW,
- використання експериментальної лінії ERS у польових умовах для спостереження та аналізу системи UMKW в реальних умовах протягом 12 місяців (повний спектр випадків навантаження на конструкції),
- створення програмного забезпечення, що підтримує проектування монтажних секцій у сфері швидкого вибору та комплектування конструкцій,
- розробка системи UMKW шляхом її використання для різних видів опор ( портали, окремо стоячі опори та ін..).

На основі аналізів, досліджень та накопиченого досвіду слід зазначити, що розроблена технологія тимчасової лінії має такі особливості:

- а). Вся система ERS пройшла польові натурні випробування на основі вимог польських стандартів,
- б) повне розуміння системи на основі єдиної повномасштабної перевірки аналітичних рішень, проведеної на полігоні,
- в) комплектність - повноцінні елементи, що дозволяють створювати структури 110 кВ, 220 кВ та 400 кВ,
- г) універсальність - побудова конструкцій будь-якої форми з використанням невеликої кількості модулів (плоскої, вертикальної та просторові структури),
- д) короткий час монтування - система без фундаменту з мінімальною кількістю відтяжок, скорочений час стабілізації структури, що підтверджується натурними випробуваннями на повномасштабних моделях (прототипах),
- ф) можливість розширення системи за рахунок отриманого авторського права на рішення, можливість створення нових типових конструкцій на відміну від відомих алюмінієвих систем, пропонує у Польщі, де створення нових елементів можливе тільки за дозволом постачальника цієї системи.

Розглядаючи перспективи застосування тимчасових ліній ERS на основі технології UMKW в мережах розподілу та передачі електроенергії, що виходять за рамки усунення аварій на лініях, слід вказати такі області обґрунтованого використання:

- реконструкція існуючих повітряних ліній 110 кВ з використанням існуючих технічних охоронних зон ліній (спрощення процедур початку будівельних робіт);
- модернізація існуючих ліній 220 кВ та 400 кВ (безперервність передачі);
- будівництво кабельних відпайок від повітряних ліній 110 кВ;
- реконструкція підключень до лінійних комірок розподільчих пристроїв 110 кВ.

## *Екологія:*

Широке використання технології UMKW як однієї з потенційно еквівалентних систем ERS призведе до позитивних наслідків для навколишнього середовища. Ці умови були детально проаналізовані та описані на етапі розробки заявки на співфінансування, де вказано на:

- зменшення втручання в навколишнє середовище за допомогою використання існуючих технологічних зон для повітряних ліній;
- уникнення або зменшення зайвих викидів CO<sub>2</sub>, уникаючи передачі електроенергії по обхідному маршруту та використання мережі нижчої напруги;
- уникнення зайвих викидів у навколишнє середовище через усунення потреби у додатковому виробництві електроенергії для покриття втрат при передачі по обхідному маршруту.

Що стосується впливу на навколишнє середовище, аналіз, представлений для потреб Національного центру досліджень та розробок, ґрунтувався на моделюванні лінії 2x400 кВ замість існуючої повітряної лінії 1x220 кВ Козеніце - Мілосна відповідно до інвестиційного плану Польської Енергетичної Системи - PSE SA.

Причиною зайвих викидів CO<sub>2</sub> було збільшення втрат при передачі, пов'язаних з необхідністю передачі енергії по обхідних маршрутах, включаючи лінії напругою нижче 400 кВ. Для умов, прийнятих у заявці, зменшення зайвих викидів мало би бути приблизно на 10 тисяч тон CO<sub>2</sub>. Маючи детальні дані про перетоки електроенергії, можна продемонструвати більше скорочення викидів. Було зроблено висновок, що використання тимчасових ліній, окрім отримання екологічного ефекту у вигляді уникнення зайвих викидів CO<sub>2</sub>, також призведе до економічного ефекту для Оператора шляхом зменшення закупівлі енергії для покриття втрат при її передачі.

## *Перспективи:*

Завершений проект досліджень та розробок дозволить реалізувати на польському ринку вітчизняне, повне, з урахуванням специфіки технічного рішення державної енергетичної системи технічні рішення з використанням систем ERS. Впровадження технології UMKW дозволить ефективно планувати модернізацію існуючих ліній як в малому - місцевому масштабі, так і в межах реконструкції цілих магістральних лінійних маршрутів.

У рамках проведених робіт проектна команда провела аналіз можливостей використання технології UMKW для реконструкції двоколової повітряної лінії 2x400 кВ. Модернізація, що полягає у заміні існуючої проміжної опори на анкерно-кутову опору, встановлену в тому самому місці з використанням традиційної технології, вимагатиме, постійне відключення лінії протягом приблизно 30 днів.

На підставі проведених аналізів було підтверджено можливість використання структури системи UMKW для реконструкції повітряної лінії 400 кВ зі скороченим часом відключення – відновлення роботи лінії було би можливе протягом 4 - 8 годин.

Найважливішою перевагою є можливість відновлення передачі в будь-який час під час будівельних робіт. Розроблені опори SzPN 400/173 пристосовані для підвішування робочих проводів у вигляді в'язки 2x AFL-8 (аналог проводу AC) 525 кв.мм і проводу грохозахисту.

На макромасштабному рівні технологія UMKW дозволить гнучко планувати модернізацію існуючих повітряних ліній високої напруги. Детальний аналіз на етапі широкого техніко-економічного обґрунтування із зазначенням сфери використання структури ERS на основі реальних, а не теоретичних польових умов та оптимізація типів складових елементів до рівня стандартних каталогових рішень, що використовуються на лінії, дозволить вам оптимізувати інвестиційний процес та детально спланувати графік відключень.

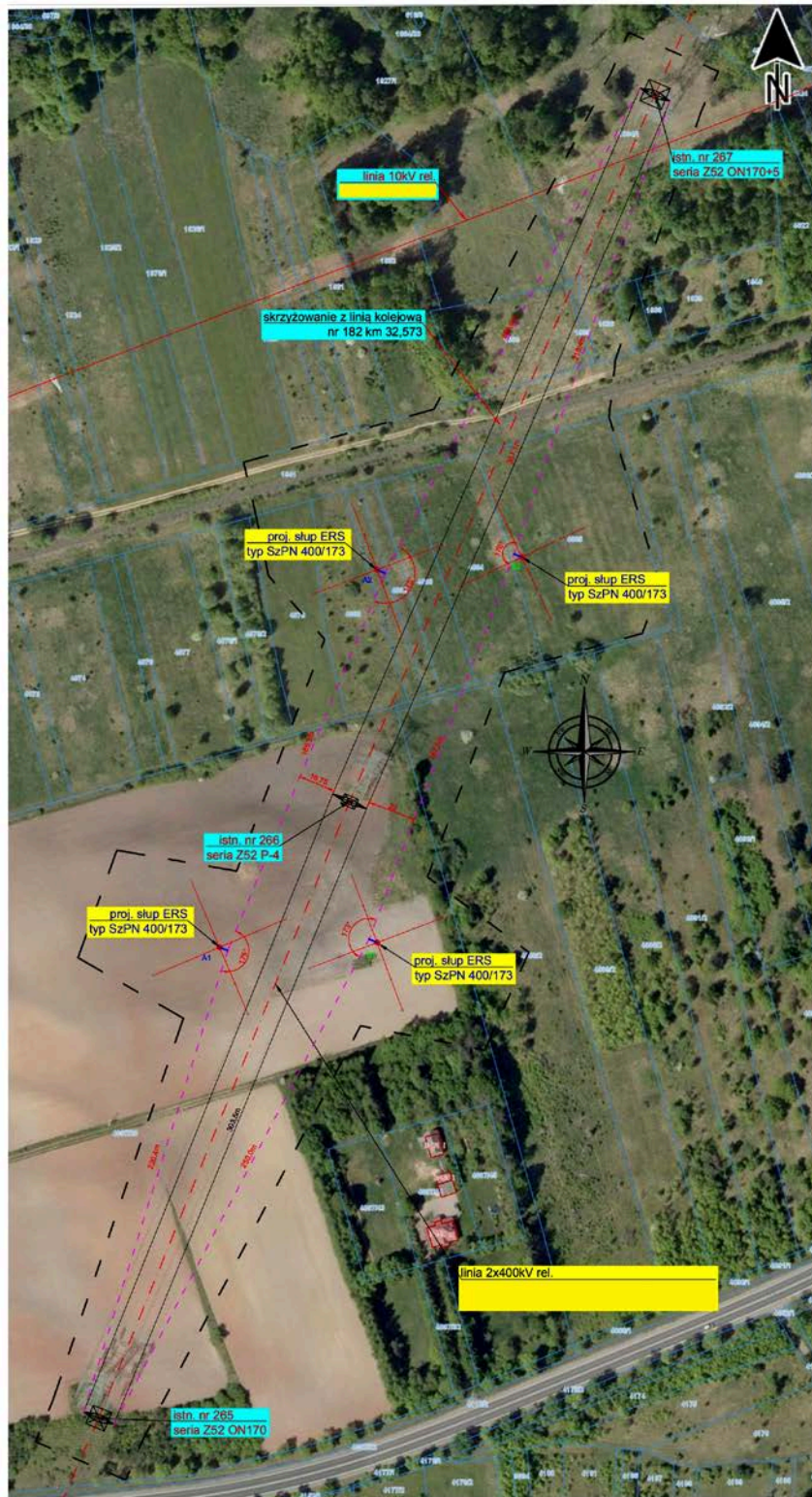


Рис 14 – Проект модернізації двокової повітряної лінії ВЛ 2х400 кВ з застосуванням тимчасової лінії на основі використання технології УМКВ та опор типу SzPN 400/173.

Найбільша перевага технології, що розробляється, - це її повна універсальність та всебічність, що дозволить, серед іншого щоб усунути кожну аварію за дуже короткий час. Запланований остаточний

ефект Проекту є одним із заходів, спрямованих на покращення енергетичної безпеки країни та критичної інфраструктури.

UMKW - перша комплексна технологія спорудження тимчасових опор без фундаменту, розроблена та перевірена на відповідність вимогам польських (і відповідно європейських) стандартів у повному діапазоні напруги 110 кВ, 220 кВ та 400 кВ.

#### Литература:

1. T. Paczkowska, W. Paczkowski: Aspekty budowlane katastrofy energetycznej w rejonie szczecińskim, XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna, 2009 r.;
2. Awarye w sieciach elektroenergetycznych w Polsce – informacje Grup Energetycznych, CIRE;
3. Podsumowanie dotyczące awarii sieci w grudniu 2009 r. i styczniu 2010 r. na obszarach objętych właściwością poszczególnych operatorów systemów dystrybucyjnych, URE, marzec 2010 r.;
4. D. Dymek, E. Jastrzębska, W. Kurbiel: Awarye linii elektroenergetycznych wywołane oblodzeniem, XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna, 2013 r.;
5. G. Bartodziej, M. Tomaszewski: Blackout w rejonie Szczecina. Uwagi i wnioski; Energetyka – październik 2008 r.;
6. Sprawozdanie z działalności Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki w 2017 r., mat. URE kwiecień 2018 r.;
7. Roczniki statystyczne GUS;
8. Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym;
9. Narodowy Program Ochrony Infrastruktury Krytycznej – tekst jednolity;