

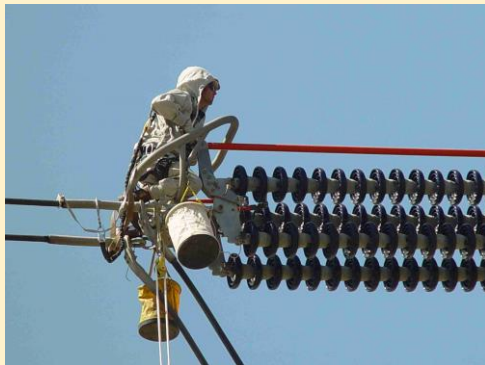


Prace pod napięciem w sieciach wysokich i najwyższych napięć prądu przemiennego (AC) i prądu stałego (DC)

Mgr inż Eugeniusz PIECHOCZEK (Politechnika Śląska, Polska)

George (Jerzy) Gela (BETC, USA)

Nidzica, 6-go września 2023 r.



Prace pod napięciem w sieciach wysokich i najwyższych napięć prądu przemiennego (AC)

- Co jest potrzebne:
 - Odległość zbliżenia minimalna - MAD (IEV 651-21-11)
 - Specjalne narzędzia
 - Ubiór przewodzący
 - Wyszkolone kadry
 - Przepięcie łączeniowe (switching overvoltage)
 - Przepięcie atmosferyczne, przepięcie piorunowe - ???
 - Zapłon ponowny łuku późny - ??? zapłon ponowny – nowe wymagania w USA
 - Indukcja elektryczna
 - Wyładowanie łukowe
 - Różnice między prądem przemiennym (AC) i prądem stałym (DC): (uloty, wyładowania koronowe)



IEEE Odległość zbliżenia minimalna (D)

- Dwie metody: IEEE Std 516 i IEC 61472 (Gallet)
- Wyniki takie same w identycznych sytuacjach

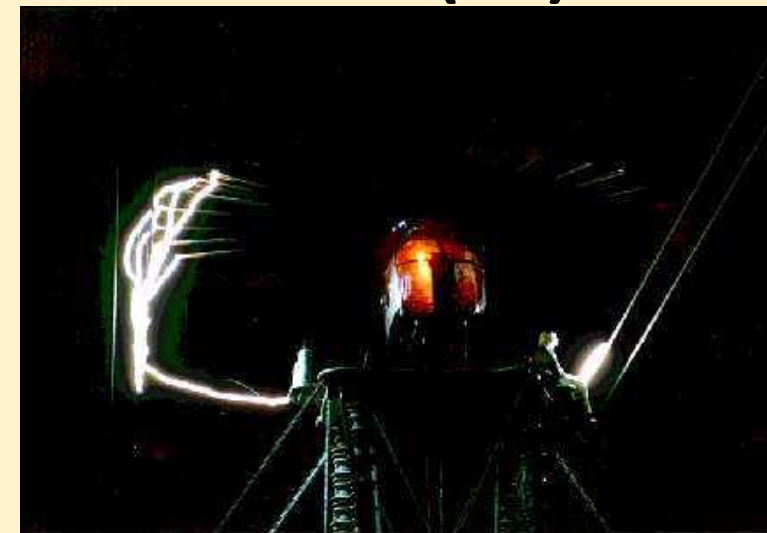
- IEEE Std 516 for tools, L-G:

$$D_{\text{MADfor tools, LG}} = 0.3048(C_1 \cdot C_2 + a) T_{\text{LG}} \cdot V_{\text{LG}} \cdot A + M$$

$$\text{for helicopter: } D_{\text{MHAD}} = \{0.3048(C_1 + a) T_{\text{LG}} \cdot V_{\text{LG}}\} A + M \} H$$

- IEEE Std 516 for tools, L-L,
over 242 kV, z helikopterem:

$$D_{\text{MAD, for tools, L-L}} = \left\{ \left[\frac{8}{4875} \cdot \frac{1}{(1.35 T_{\text{L-G}} + 0.45) \cdot V_{\text{L-L}}} - 1 \right] \cdot A + M \right\} \cdot H$$



IEC Odległość zbliżenia minimalna (D_A)

- IEC 61472 for tools (L-G):
$$D_U = 2,17 \left(e^{U_{90}/[1080^{K_t}]} - 1 \right) + F$$

D_A - Odległość zbliżenia minimalna : $D_A = D_U + D_E$

F – płynący object

U_{90} – napięcie wytrzymałwane udarowe, statystyczne, 90%

K_t – parameter, składa się wielu czynników: geometrycznych, atmosferycznych, statystycznych, uszkodzonych izolatorów,

$K_t = k_s k_g k_a k_f k_i$; $k_i = 1 - 0,8k_d(A_d/A_o)$ (uszkodzone izolatory)

$\beta = F/(D + F)$



Prace pod napięciem w sieciach wysokich i najwyższych napięć prądu stałego (DC)

- Co wiemy:
 - Mało konkretnych experimentalnych danych
 - Uloty, wyładowania koronowe mają wielki wpływ
 - Wiatr niesie jony bardzo daleko od linii
 - Wilgotność ma wielki wpływ
 - Przepięcia są mniejsze
 - Jony w powietrzu no izolację i FRP narzędzia usiadają na narzędzia
- Uniwersytety i laboratoria wykonują różne pomiary



Wpływ na śmigłowce ???



Zastosowanie śmigłowców w celu optymalizacji kosztów – na przykładzie prac realizowanych w Pensylwannie

Mgr inż Eugeniusz PIECHOCZEK (Politechnika Śląska, Polska)

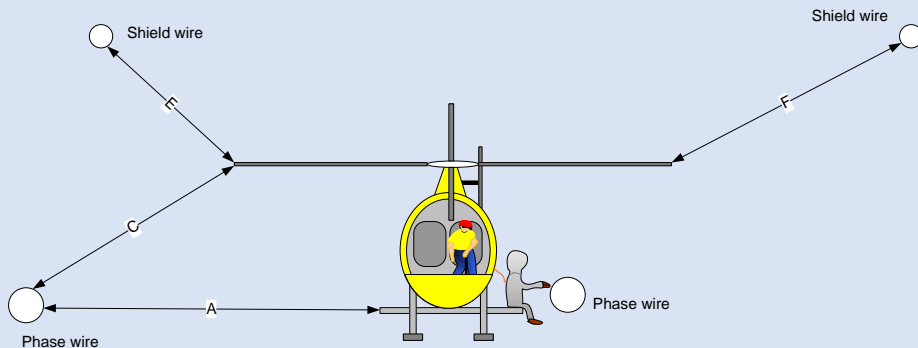
George (Jerzy) Gela (BETC, USA)

Nidzica, 6-go września 2023 r.

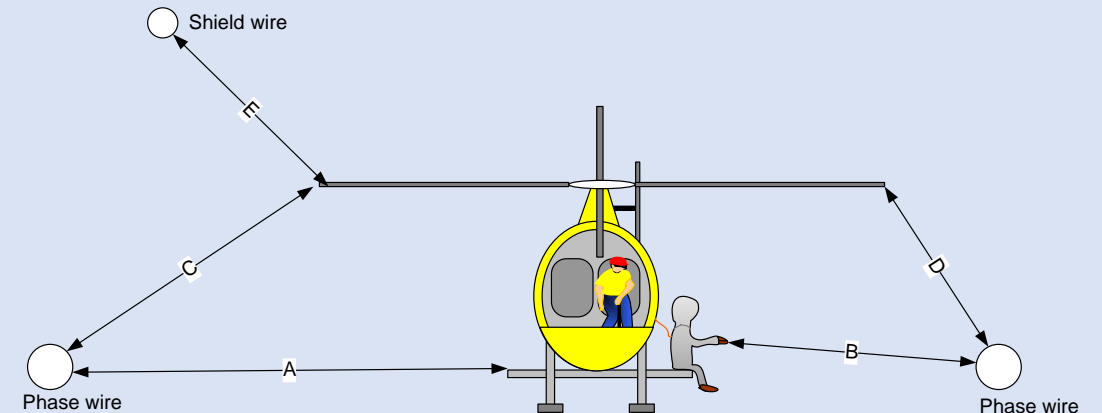


Zastosowanie śmigłowców do pracy pod napięciem

- Co jest potrzebne:
 - Odległość zbliżenia minimalna - MAD (IEV 651-21-11) – śmigłowiec między fazami linii
 - Wiele różnych pozycji śmigłowca należy obliczyć



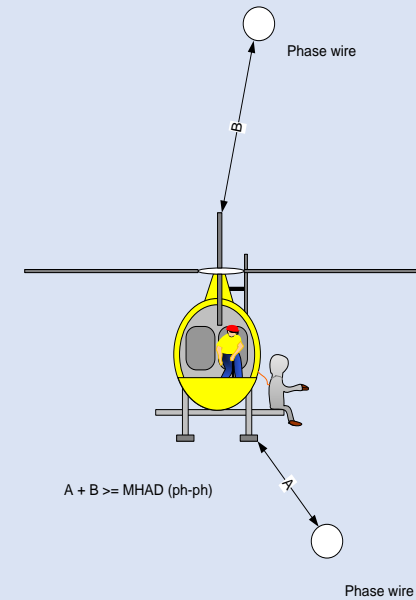
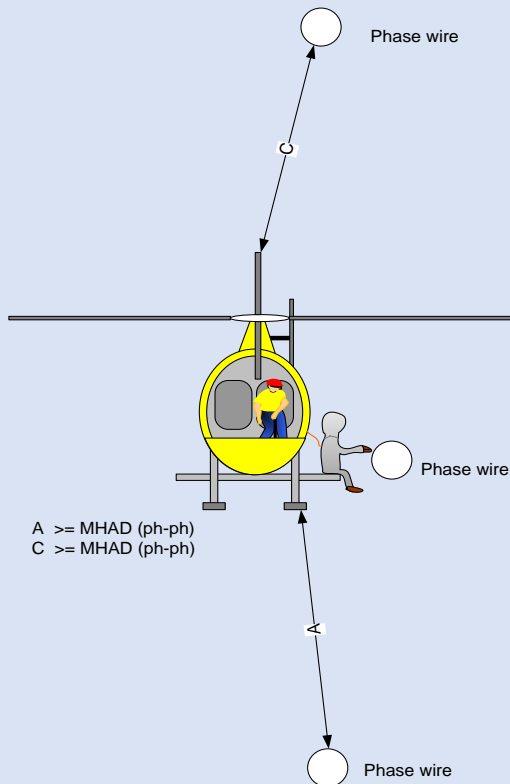
A \geq MHAD (ph-ph)
C \geq MHAD (ph-ph)
E \geq MHAD (ph-g)
F \geq MHAD (ph-g)



A + B \geq MHAD (ph-ph)
C + D \geq MHAD (ph-ph)
E \geq MHAD (ph-g)

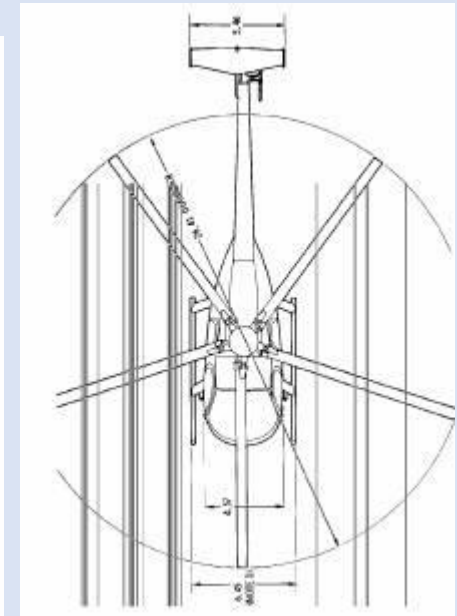
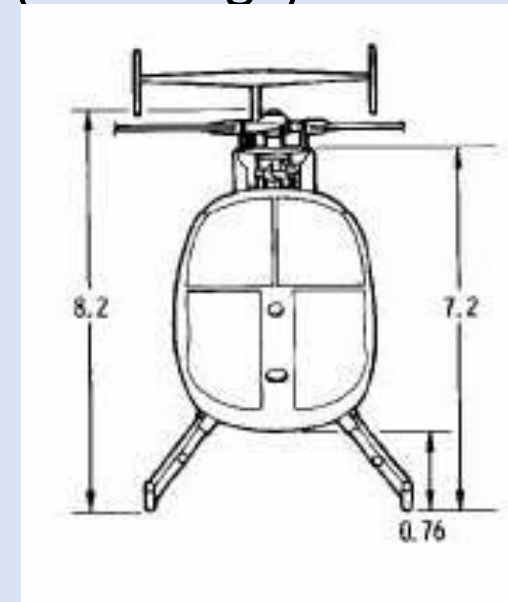
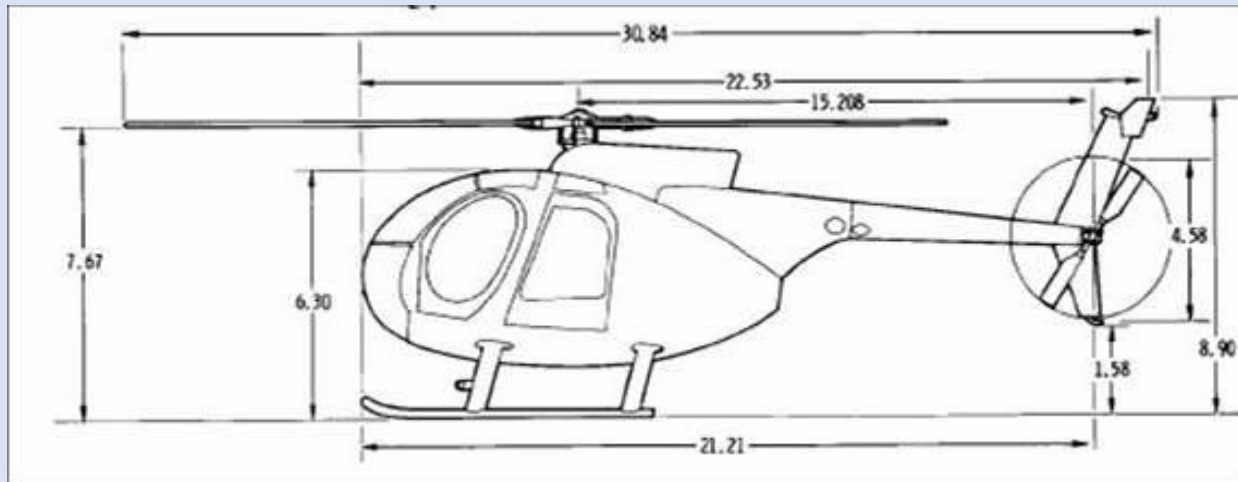
Zastosowanie śmigłowców do pracy pod napięciem

- Wiele różnych pozycji śmigłowca należy obliczyć



Obliczanie minimalnej odległości zbliżenia

- Obliczenia oparte na pomiarach, używając:
 - Śmigłowiec MD500, na izolowanym podium, między fazami
 - Napięcia: przemienne (AC), stałe (DC), przepięcie łączeniowe (“switching”)
 - Śmigłowiec przyłączony do fazy albo oddalony (“floating”)
- Rozmiary śmigłowca (ft.):



Obliczanie minimalnej odległości zbliżenia

(IEEE Std 516, EPRI reports)

- Dla napięć poniżej 242 kV (m)

$$\{D_{\text{MAD,helicopter,L-L}}\} = \left[\left\{ \frac{8}{\left(\frac{4623}{(1.35 \cdot \{T_{\text{L-G}}\}_{\text{p.u.}} + 0.45) \cdot \{U_{\text{L-L,rms}}\}_{\text{kV}} \right) - 1} \right\} \cdot A + \{M\}_m \right] \cdot H$$

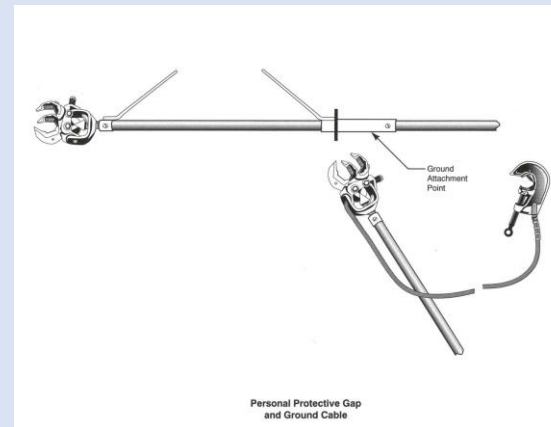
- Dla napięć ponad 242 kV (m)

- IEEE Std 516, EPRI reports

$$\{D_{\text{MAD,helicopter,L-L}}\} = \left[\left\{ \frac{8}{\left(\frac{4875}{(1.35 \cdot \{T_{\text{L-G}}\}_{\text{p.u.}} + 0.45) \cdot \{U_{\text{L-L,rms}}\}_{\text{kV}} \right) - 1} \right\} \cdot A + \{M\}_m \right] \cdot H$$

Przykład: wymiana odstępników tłumiących na linii 500 kV w Pensylwanii

- Krok 1: Obliczanie przepięć łączeniowych.
- Krok 2: Czy odległości przewodnik–śmigłowiec są dostatecznie wielkie?
- Krok 3: Odpowiedź: Nie, nie są dostatecznie wielkie.
- Krok 4: “Portable Protective Air Gap (PPAG)”
- Krok 5: Gdzie zainstalować?
- Krok 6: Odpowiedź: Na każdej fazie, między fazą a wieżą)
- Krok 7: Zasięg PPAG: około +/- 4 mil



Przykład: wymiana odstępników tłumiących na linii 500 kV w Pennsylvanii

- Krok 8: PPAG zainstalowane rano, zdjęte popołudniu
- Zaintalowano około 21 PPAG każdego dnia
- Wymienion ponad 6000 odstępników tłumiących
- Praca trwała 22 dni
- Jest też możliwość używanie odgromników, na dłuższy czas



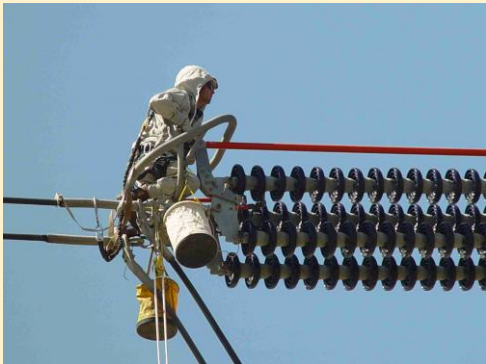


Nowe kable (przewodniki) do 200° C

Mgr inż Eugeniusz PIECHOCZEK (Politechnika Śląska, Polska)

George (Jerzy) Gela (BETC, USA)

Nidzica, 6-go września 2023 r.

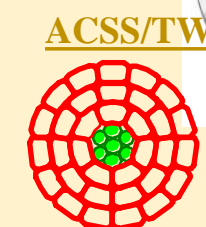
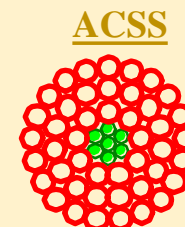
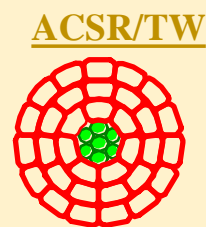
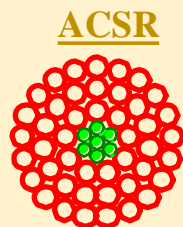


Nowe kable (przewodniki) do 200° C

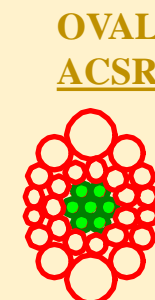
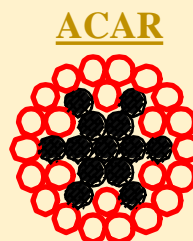
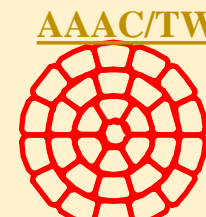
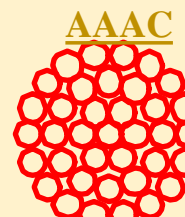
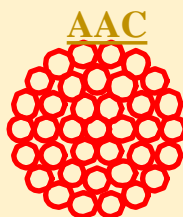
- “Tradycyjne kable”: ACSR (Aluminum Cond. Steel Reinforced)

- Dużo różnych kabli:

- HTLS:
“High-Temperature,
Low-Sag (wysoka
temperature, mały
zwis)



ACSS/TW



What is a High-Temperature Conductor?

- HTLS conductor can operate at higher temperatures (to 250°C short term, above 100°C continuously) without excessive sag or loss of strength.
- All HTLS conductors consist of a high-strength, low-elongation core surrounded by high-conductivity aluminum strands.
- Outer strands are made of aluminum or aluminum alloys
- Core is made of steel or composites material (aluminum oxide, zirconium, carbon fiber).



ACSS/TW

Czy lepszy od ACSR?

- Reconductoring existing lines with HTLS conductors avoids building new lines.
- HTLS conductors allow very long spans with lower sag (river crossings).
- Less sag means either fewer or shorter towers.
 - Good for densely populated areas.
 - Reduced environmental impact.
- Similar diameter conductor can carry more power.
- Good for heavy ice/wind regions.



**ACCC
Conductor**

Przykład: Obciążalność zwiększa się
kiedy temperatura się zwiększa

**Rating vs Temperature
of Drake ACSR**

| Conductor Temperature | Rating (amps) |
|-----------------------|---------------|
| 50 C (122 F) | 488 |
| 75 C (167 F) | 848 |
| 100 C (212 F) | 1071 |
| 150 C (302 F) | 1381 |
| 200 C (392 F) | 1611 |

A czy są ograniczenia z punktu widzenia pracy pod napięciem?

TAK, są

- Training
- Preparation
 - Tools
- Procedures



ACCC



How Hot Can These Conductors Get?

- Max temp is: 180 - 250 °C

The max temps are very unlikely:

- Manufacturers design for full current and almost no wind
- Tests are typically done indoors with full current and almost no wind.
- Pamiętaj:

NIE DOTYKAJ!



A narzędzia?

Related concern: Will high conductor temperature damage the LW tools?

- **No.** Your hotsticks will not be damaged and will not deteriorate with the potentially high conductor temperatures during normal maintenance work.



Do I Need Special LW Tools?

1. Do I need special hotsticks for high temp conductors?

No.

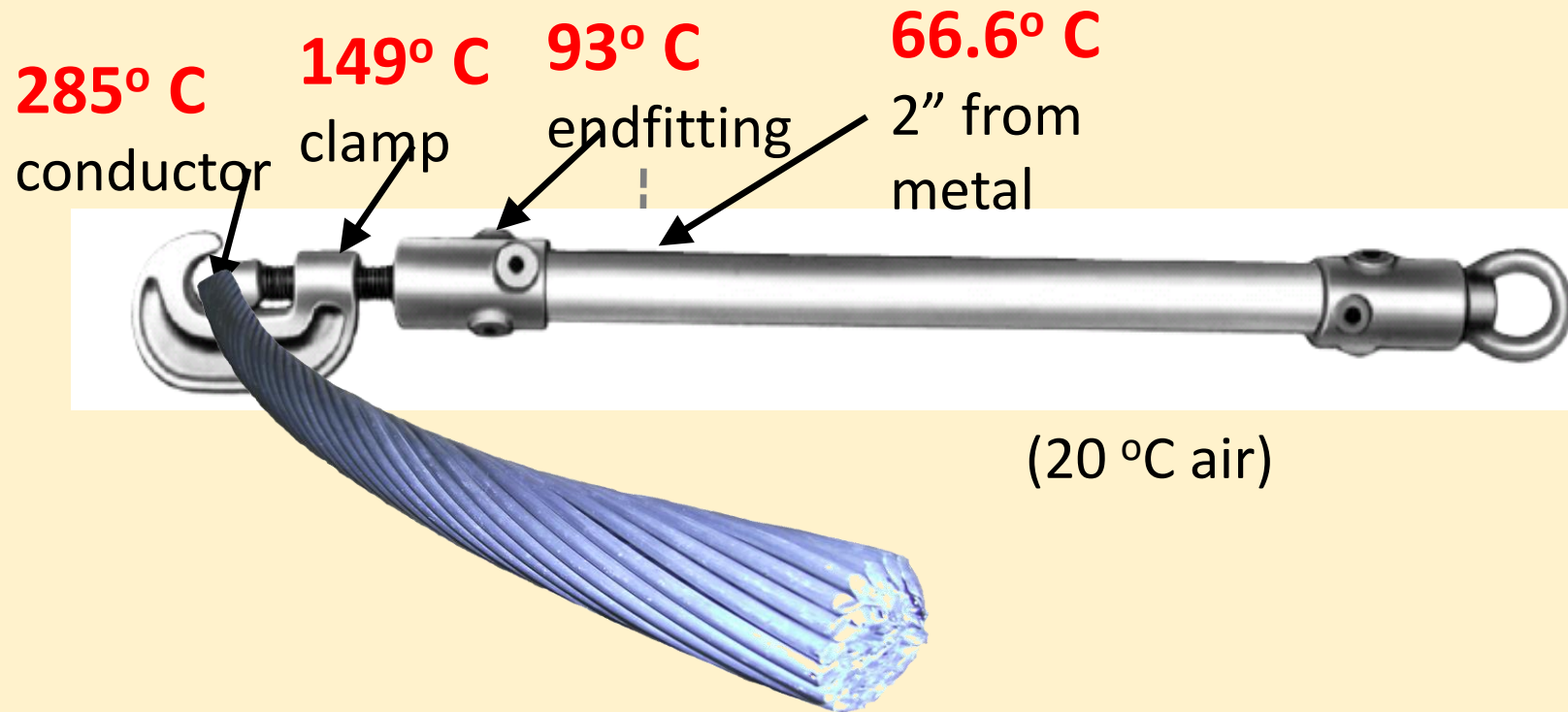
2. Could the stick fiberglass melt if it touches the hot conductor?

No.

(No loss of fiberglass strength for any length of exposure time.)

No special LW tools are needed

Przykład



- These are *worst case* temperatures: with highest conductor temperature, no wind, small clamp, no yoke between conductor and tool.

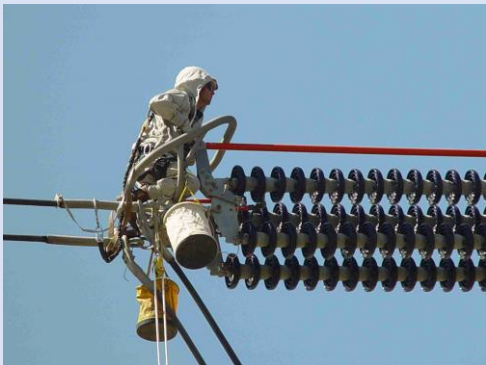


Normy i management

Mgr inż Eugeniusz PIECHOCZEK (Politechnika Śląska, Polska)

George (Jerzy) Gela (BETC, USA)

Nidzica, 6-go września 2023 r.



Do czego potrzebne normy?

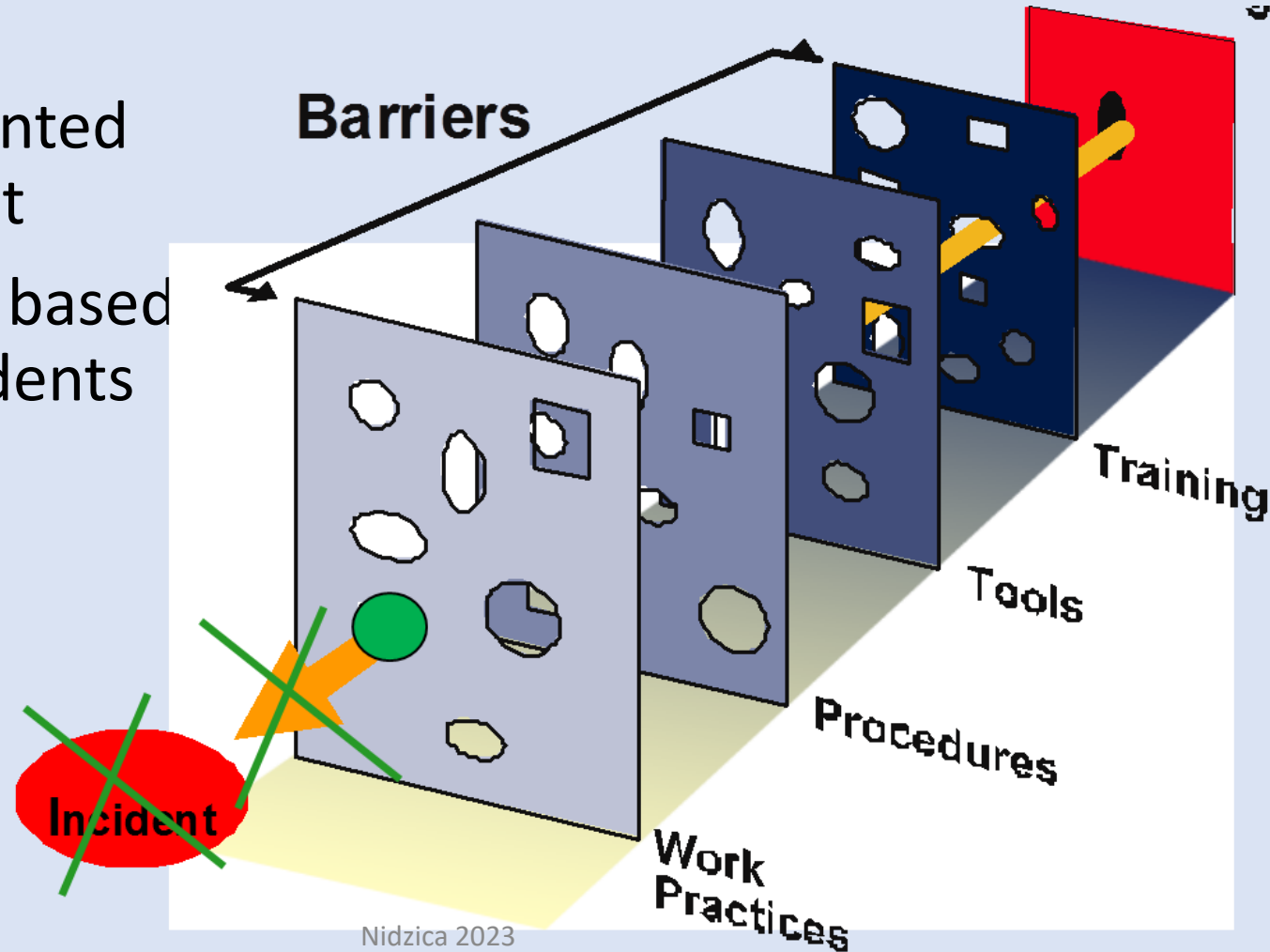
- Standards ensure the safety, quality and reliability of products and services; they facilitate trade and protect our health and the health of the environment. For business, standards improve systems and processes; they reduce waste, cut costs and ensure consistency
- Normy pomagają zapewnić bezpieczeństwo, dobrą jakość produktów, pomagają zmniejszyć straty i koszty....
- Jednak, niestety, wypadki trafiają się ...

Accidents – how they happen, how we react

- Accidents seldom “just happen”
- They are CAUSED!
- It almost always requires a series of miscues (errors) to cause an accident.

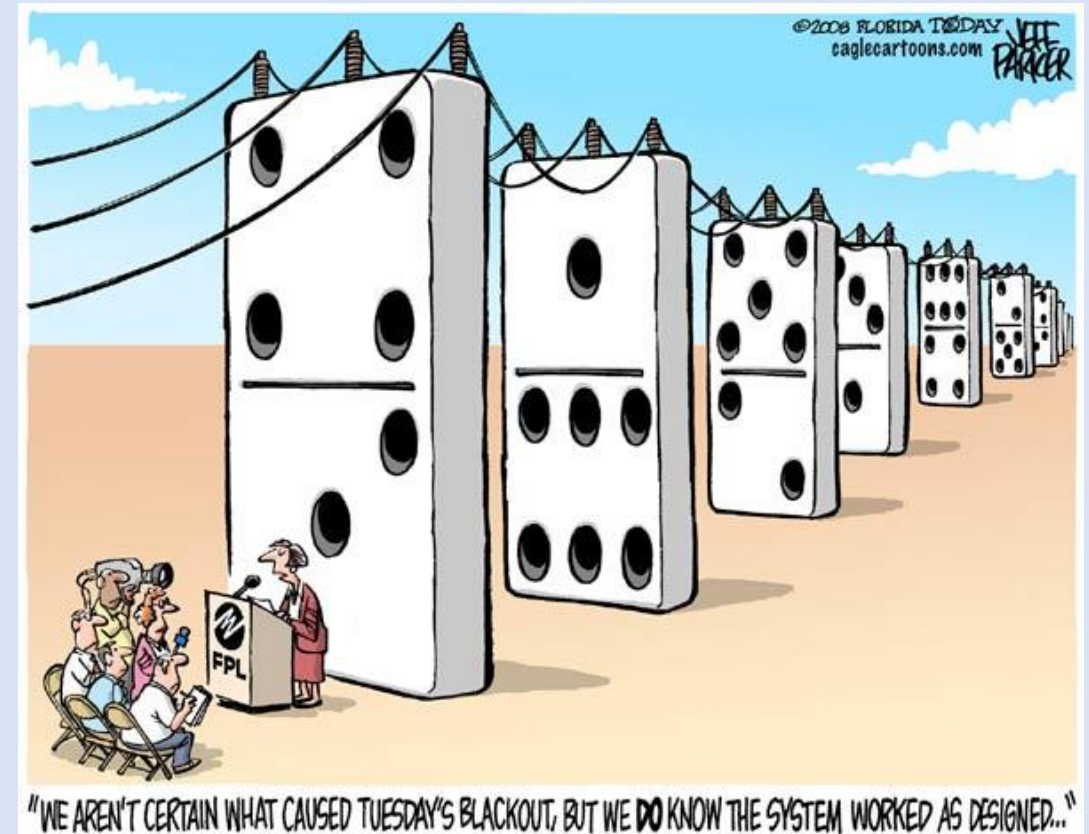
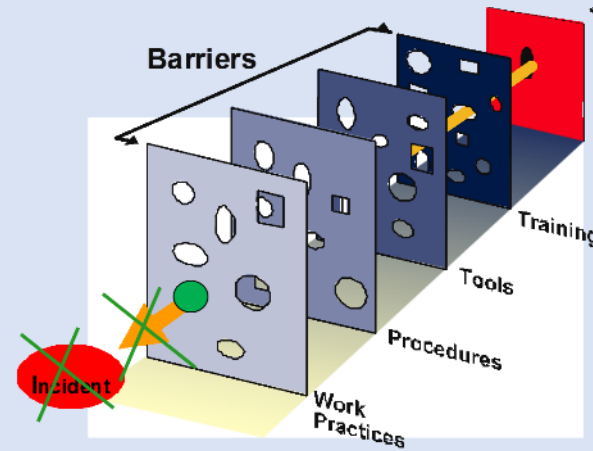
The “Swiss cheese” model

- Various “barriers” help prevent unwanted outcome – accident
- We create barriers based on analysis of accidents and near-misses
- Unfortunately, no set of barriers is perfect
- We must try



Analysis of incidents

- We analyze causes of outages
- Similarly, we should analyze incidents
- Analysis difficult for various reasons
- Analysis of near-misses is even more difficult – they are seldom reported
- Sometimes, we just “don’t know”



Example of accident sequence

- Newspaper article - a small mishap turned into a major incident (true event):
 1. At a dinner party, French playwright Victorien Sardou (1831-1908) spilled a glass of wine.
 2. The woman sitting next to him spilled salt on the stain.
 3. Sardou picked up some of the salt and threw it over his shoulder for luck.
 4. The salt went into the eyes of the waiter who was about to serve him chicken.
 5. The waiter dropped the platter.
 6. The family dog pounced on the chicken.
 7. A bone lodged in the dog's throat.
 8. A small child attempted to pull the bone out.
 9. The dog bit the child's finger.
 10. The finger became infected.
 11. The finger had to be amputated.

Determine root cause of an accident

- Does an accident investigation and report CLOSE the issue?
- No, not if we want to:
 - Determine the root (real) cause
 - Learn from the event
 - Take preventive action(s)

How should we react to the amputation accident?

- *Overreact:*
 - If you don't want to lose a finger – don't go to France!
- *Ignore it!:*
 - See if it will go away and never happen again?
- *Analyze, learn and prevent possible similar future incidents:*
 - Analyze each phase of the incident
 - Do a hazard analysis
 - Make house rules
 - Train personnel
 - Certify critical positions
 - Improve the work environment

What would help prevent the amputation?

- Let's analyze the 11 steps that led to the outcome (amputation):
 1. At a dinner party, French playwright Victorien Sardou (1831-1908) spilled a glass of wine.
 2. The woman sitting next to him spilled salt on the stain.
 3. Sardou picked up some of the salt and threw it over his shoulder for luck.
 4. The salt went into the eyes of the waiter who was about to serve him chicken.
 5. The waiter dropped the platter.
 6. The family dog pounced on the chicken.
 7. A bone lodged in the dog's throat.
 8. A small child attempted to pull the bone out.
 9. The dog bit the child's finger.
 10. The finger became infected.
 11. The finger had to be amputated.

What would help prevent the amputation?

- Let's analyze step 6:
 6. The family dog pounced on the chicken.
- **WHAT IS A DOG DOING IN THE DINING ROOM AT DINERTIME?**
- **Preventive action: DO NOT ALLOW THE DOG IN THE DINING ROOM AT DINNERTIME!**
- **Could not allowing the dog in the dining room have prevented the final outcome (amputation of the finger)? Yes, in this scenario, absolutely YES. Of course, the following steps could take place elsewhere and lead to the same outcome, but not in this scenario.**
- **Is this preventive action (not allowing the dog int eh dining room at dinnertime) feasible? Yes, absolutely, simple common sense.**
- Analyze remaining steps for completeness.

What would help prevent the amputation?

- Therefore, new rule (SOP):

- No dogs in dining room at dinnertime.

How do we develop safe working environments?

- Standards
- Safety manuals
- Hazard analysis
- Written procedures
- Tail gate sessions
- Accident reviews
- And follow-up

Safety is a habit

OSHA hazard identification training tool

- On-line
- <https://www.osha.gov/hazfinder/game/manual.html>
- [https://www.osha.gov/hazfinder/text version/construction.html](https://www.osha.gov/hazfinder/text_version/construction.html)

Grounding and bonding

- Deenergized versus dead
- Grounded, bonded
- Induction
- Definitions
- Examples of incidents

Definitions: IEEE 1048 “IEEE Guide for Protective Grounding of Power Lines”

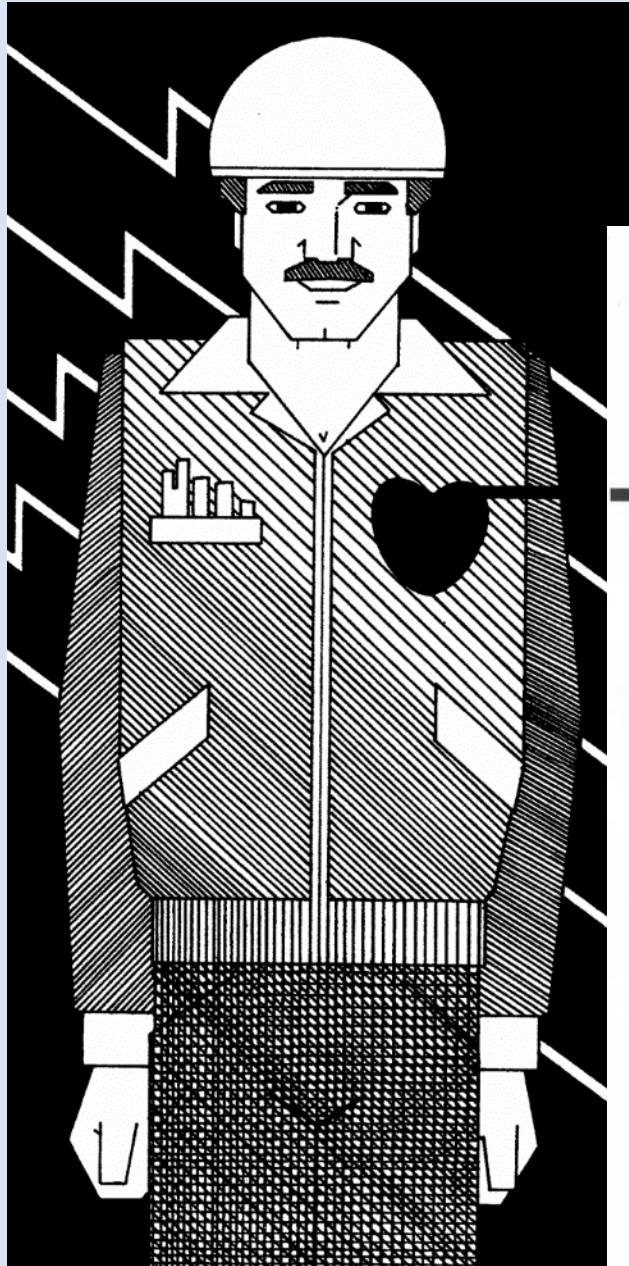
- **bonded:** *Syn:* connected.
- **de-energized**
- **Energized.** *Syn:* alive; current carrying; hot; live.
- **equipotential zone (for protective grounding) (EPZ)**
- **exposure voltage.** *Syn:* accessible voltage.
- **ground, or grounded**
- **ground potential rise (GPR)**
- **personal protective ground.** *Syn* bracket grounding, combination grounding, worksite grounding.

IEEE 1048 “IEEE Guide for Protective Grounding of Power Lines”

- **temporary protective ground (TPG).** *Syn: temporary grounding jumper; protective grounding jumper.*
- **touch voltage**
- **electric field induction (capacitive coupling**
- **electromagnetic field induction (electromagnetic coupling**
- **magnetic field induction (inductive coupling)**
- **exposure voltage.** *Syn: accessible voltage.*
- Actually, it is the **CURRENT** through the worker’s body, not the voltage across it, that can cause damage, injury or death.

What current levels are safe/lethal?

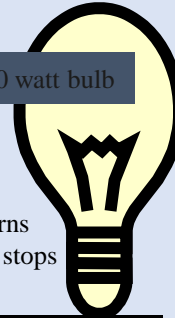
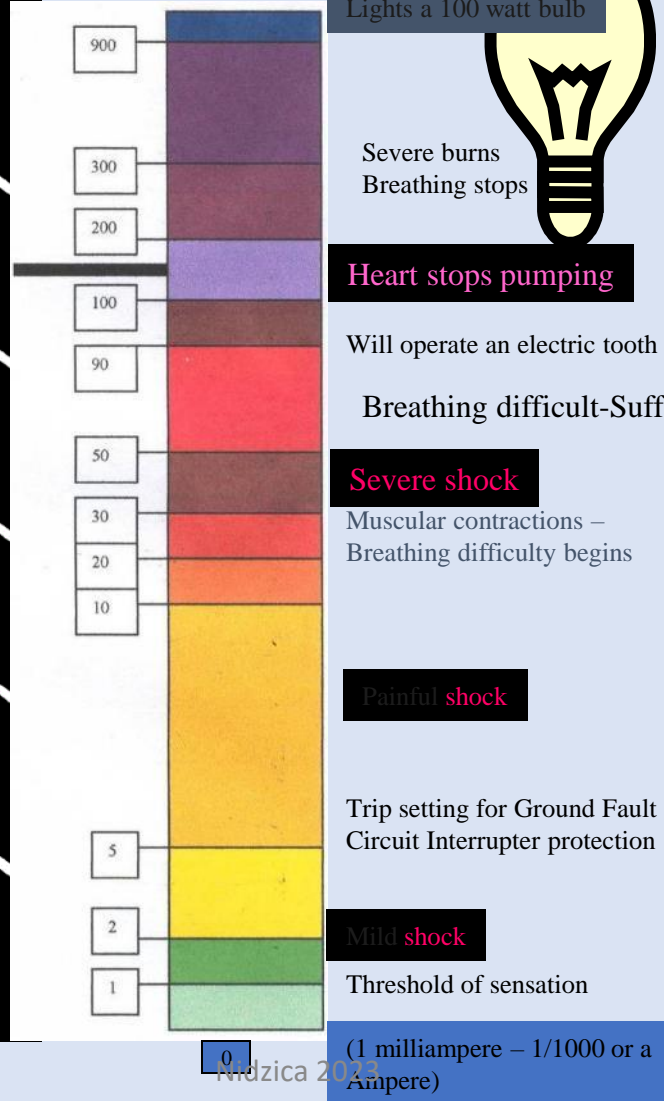
Dalziel's studies



Less than one ampere can Cause death!

Danger! “Electric current can kill.”

1 Ampere
(1000 Milliamperes)



If you walked away from your last electrical shock Consider yourself lucky
SOME DON'T! Work Safely with Electricity – Don't Depend on Luck.

Current levels - general

Threshold Levels for 60 Hertz Contact Currents

| <u>rms current, mA</u> | <u>Threshold reaction and/or sensation</u> |
|------------------------|--|
| 0.13 | Touch perception for 1 % |
| 0.36 | Touch perception for 50% |
| 0.49 | Grip perception for 1 % |
| 1.10 | Grip perception for 50 % |
| 9.0 | Let go for 0.5 % |
| 16.0 | Let go for 50 % |
| 23 | Breathing difficult for 50 % (respiratory tetanus) |
| 100 | Estimated fibrillating current for 0.5 % at 70 kg (150 lb) |

This table is general information. It does not include time (cycle) dependency.

Dalziel's Formula for Fibrillation

$$i = k / t^{1/2}$$

- where,
- k < 116, 0.5 % probability of fibrillation for a 110 pound person
 - k < 185, 99.5 % probability of fibrillation for a 110 pound person
 - i fibrillating current in milliamperes
 - t duration of electrical contact in seconds (0.0083 to 5 seconds) (1/2 to 300 cycles)

SELECTED FIBRILLATION PROBABILITY CALCULATIONS

| Cycle (Hz) | T (sec) | I (A) | I (A) |
|------------|---------|-------|-------|
| | | 0.5% | 99.5% |
| | | | |
| ½ | 0.0083 | 1.28 | 2.03 |
| 1 | 0.0167 | 0.90 | 1.43 |
| 5 | 0.0833 | 0.42 | 0.72 |
| 10 | 0.1667 | 0.28 | 0.45 |
| 30 | 0.5000 | 0.16 | 0.26 |
| 60 | 1.0000 | 0.12 | 0.19 |
| 120 | 2.0000 | 0.03 | 0.13 |
| 200 | 3.3333 | 0.06 | 0.10 |
| 300 | 6.6667 | 0.05 | 0.08 |

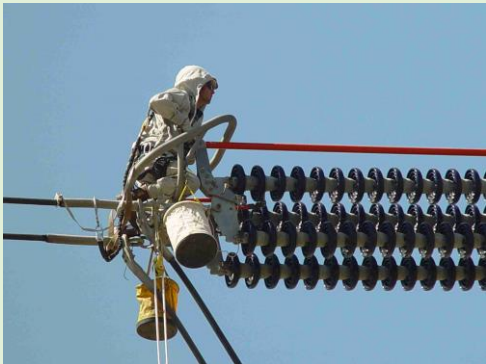


Nowe narzędzia i metody eksploatacji linii elektroenergetycznych

Mgr inż Eugeniusz PIECHOCZEK (Politechnika Śląska, Polska)

George (Jerzy) Gela (BETC, USA)

Nidzica, 6-go września 2023 r.





Nowe narzędzia i metody eksploatacji linii elektroenergetycznych

- Polepszenia, ewolucja istniejących narzędzi: biór przewodzący; lina izolacyjna, corona camera; podnośnik z wysięgnikiem izolacyjnym...
- Nowe koncepty: “drones”, drążki izolacyjne – kwadratowe, trójkątne; “phase spreader”, zabezpieczenie przed wyładowaniem łukowym; nowe normy
- Nowe przewody do 200° C
- Wymiana przewodów pod napięciem, pełnym obciążeniem



Nowe narzędzia i metody eksploatacji linii elektroenergetycznych

- Nowe metody wykształcania pracowników
- Analiza przepięć w wypadku ponownego zapłonu – może wymagać zwiększenie minimalnej odległości zbliżenia