CIGRE útmutató (TB 537) transzformátorok tűzvédelmi gyakorlatára

Csépes Gusztáv,
Diagnostics Kft.

XIII. Szigetelésdiagnosztikai Konferencia, Mórahalom, 2013. október 16-18.

Tartalomjegyzék

1. Bemutató előadás célja
2. Trafó tűzvédelem jelenlegi helyzete
3. CIGRE útmutató (TB 537) rövid áttekintése
   - 3.1. Trafótűz oka és valószínűsége
   - 3.2. Belső ív, tartály felhasadás
   - 3.3. Tűz kockázatának csökkentési módjai
   - 3.4. Trafó tűzkár csökkentési lehetőségek
4. Konklúziók

Országos Tűzvédelmi Szabályzat
trafókra vonatkozó előírása

- OTSZ III. rész 28/2011. (IX.6.) BM rendelet: Országos Tűzvédelmi Szabályzat III. fejezet: A VILLAMOSENERGIA-FEJLESZTŐ, -ÁTALAKÍTÓ ÉS -ELOSZTÓ BERENDEZÉSEK TŰZVÉDELME

216. § (1) A 150 kVA-nál nagyobb névleges teljesítményű villamosenergia-fejlesztő, valamint az ilyen teljesítményű 1 kV-nál nagyobb névleges feszültségű villamosenergia-átalakító *és - elosztó berendezések, ……. tűz elleni védelme feleljen meg a vonatkozó műszaki követelménynek, vagy azzal* ***legalább egyenértékű biztonságot*** *nyújtson.*

217. § A 10 MVA-nál nagyobb beépített névleges összteljesítmény feletti transzformátorállomásokon – a legnagyobb *transzformátor külső főméreteiből számított burkoló felületére (az alapfelületet kivéve) számított – 16 l/perc ×m2 fajlagos térfogatáram mellett, a* ***10 perc oltási időnek megfelelő oltóvíz mennyiség háromszorosát kell biztosítani****.*

Amerikai szabványok:

A TRANSFORMER PROTECTOR –t (TP) *az amerikai NFPA (National Fire Protection Association) 2010-es kiadása elfogadásra javasolta az összes erőmű és alállomás számára:*

NFPA 850 (Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations),

NFPA 851 (Recommended Practice for Fire Protection for Hydroelectric Generating Plants)

Az NFPA 850 & NFPA 851 amerikai tűzvédelmi szabványajánlás 2010-es kiadás bevezetőjében az alábbiak olvashatók:

"Gyors nyomáscsökkentő rendszer elismert és javasolt azok használata"

"Gyors nyomáscsökkentő rendszer: egy passzív mechanikai rendszer, amelyet a transzformátorban fellépő villamos zárlat okozta nagy nyomás néhány ms múlva történő csökkentésére terveztek."

*Meg kell jegyezni, hogy a magyar OTSZ a trafókat tekintve **mind robbanás, mind tűzvédelmi** definíciókat használ, de a **robbanás védelmi megoldásokat lényegében a trafóknál nem használják**, ill. amit használnak, az korlátozottan hatásos.*

- ***Hasadó tárcsa:** egyszeri kifúvásra vagy beszívásra használatos biztonsági szerelvény, amely **roncsolódása révén teszi szabaddá** a kör alakú áramlási keresztmetszetet.*
- *18/a. **kombinált hasadó tárcsa:** hasadó tárcsákból összeállított biztonsági szerelvény, amely a **túlnyomást** és a túlvákuumot két különböző nyitási értékű **tárcsa felhasadásával** szünteti meg.*
- *19. **hasadópanel: egyszeri vészlefúvásra** használatos biztonsági szerelvény, amely roncsolódása révén **teszi szabaddá** a körtől eltérő alakú **áramlási keresztmetszetet**.*

- *20. **inertizálás:** inertizált az a tartály vagy berendezés, amelyet **elegendő mennyiségű inert gázzal (pl. nitrogénnel) töltenek** fel ahhoz, hogy robbanásveszélyes légtér ne keletkezhessen. Inertizálni lehet a **tartályt technológiai** okból is, ha a tárolt terméknek a levegő nedvességével vagy oxigénjével nem szabad érintkeznie.*
- *29. **Robbanás elfojtó berendezés**: olyan beépített automatikus oltóberendezés, mely képes egy esetlegesen bekövetkező robbanás észlelésére, elfojtására, továbbterjedésének megakadályozására, és a **robbanás hatásának jelentős csökkentésére.***

- *30. **Robbanásveszélyes állapot:** az „A” vagy „B” tűzveszélyességi osztályba tartozó anyag olyan mennyiségben való jelenléte, valamint előfordulási módja, állapota, mely esetén az égés, robbanás feltételei közül legalább még az oxigénkoncentráció vagy a gyújtási energia adott…….*
  *.... c) a használat módja szerint képes **passzív védelemre** tűzveszélyes helyeken, vagy alkalmazható kézi indítással kezdeti tüzek oltására vagy tűzterjedés késleltetésére, és*
  *…. d) működésbe hozatalához szükséges a **környezeti körülmények hatására történő változás vagy emberi közreműködés.***
- ***Nemzetközileg** változó a helyzet, mert a trafó robbanás védelemre nincs IEC szabvány, vannak **országos szabványok**, ill. un. GUIDE, útmutatók.*
- *A robbanás védelem azonban fontos lenne, mert pl. az egyik nemzetközi statisztika szerint **a trafók hibák 26% átvezető hiba, a trafó tüzek 48%-a átvezető** hibából keletkezik.*
- *A szakemberek között sem volt egyértelműen tisztázva minden lényeges kérdés, ezért is kezdett el foglalkozni a témával **a CIGRE WG A2.33 még 2006-ban.***

CIGRE Tanulmányi Bizottságok: A2 Transzformátorok

A1
ROTATING ELECTRICAL MACHINES

A2
TRANSFORMERS

A3
HIGH VOLTAGE EQUIPMENT

B1
INSULATED CABLES

B2
OVERHEAD LINES

B3
SUBSTATIONS

B4
HVDC & POWER ELECTRONICS

B5
PROTECTION & AUTOMATION

C1
SYSTEM DEVELOPMENT & ECONOMICS

C2
SYSTEM OPERATION & CONTROL

C3
SYSTEM ENVIRONMENTAL PERFORMANCE

C4
SYSTEM TECHNICAL PERFORMANCE

C5
ELECTRICITY MARKETS & REGULATIONC5

C6
DISTRIBUTION SYSTEMS & DISPERSED GENERATION

D1
MATERIALS & EMERGING TECHNOLOGIES

D2
INFORMATION SYSTEMS & TELECOMMUNICATIONS

CIGRE WG A2.33 Transformer Fire Safety Practices

Vezető: Mr. Arne Petersen / AU

CIGRE WG A2.33: Trafó tűzbiztonsági megoldások

Kitűzött célok:

- *Tartály felhasadás elkerülése,*
- *Tűz okozta áldozatok elkerülése*
- *Tűz megelőzési elővigyázatosságok*

- *Az A2.33 MUBI 2006-ban alakult,* ***2012-ben befejezte*** *munkáját.*
- *A Technical Brochure (TB 537)* ***2013 nyarán*** *került kiadásra.*
- *A WG-ben* ***széleskörű képviselet*** *volt:* ***áramszolgáltatók****, trafó gyártók, trafó tűzvédelmi berendezéseket gyártók, trafó olaj gyártók****, biztosító társaságok.***

Ez egy olyan GUIDE, amely alapul szolgálhat szabványok átdolgozására.

Alapcélkitűzés:

- *trafó tűz valószínűsége, alapvető jelenségek tisztázása,*
- *ajánlások a megfelelő trafó tűzvédelemre,*
- *egyes védelmi módszerek hatékonysága,*

Fő fejezetek

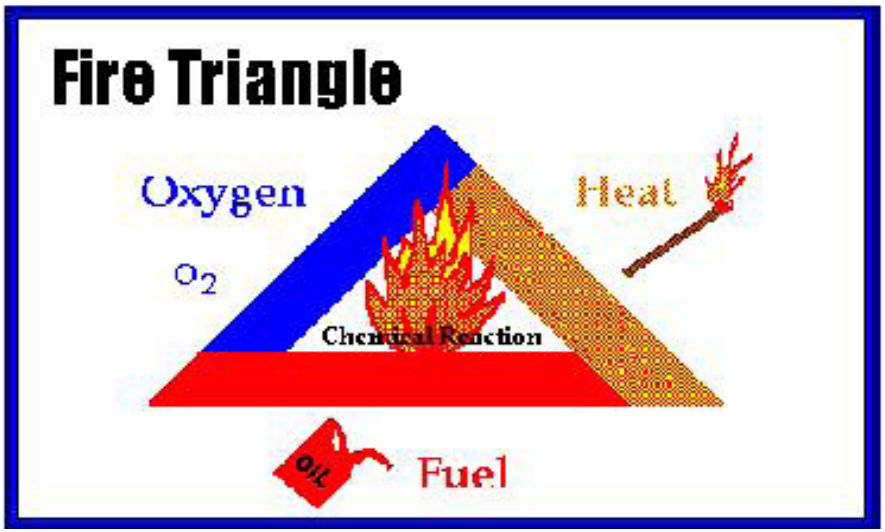
1. *Bevezetés a tűzvédelmi gyakorlatokba, szabványok és útmutatók számbavétele,*
2. *A tűz fizikája, lehetséges trafó tüzek,*
3. *Trafó tűz valószínűsége a rendelkezésre álló adatok alapján,*
4. *Trafóban keletkező ívek fizikája, energiája, túlnyomás számítás,*
5. *Útmutató lehetséges trafó tűz védelmekre,*
6. *Kockázat csökkentés elemzése a rendelkezésre álló védelmi lehetőségeknél*
7. *Kockázat csökkentés elemzése alállomás és más környező berendezéseknél, emberi élet védelme, energia szolgáltatás fenntartása, kiesés csökkentés,*
8. *Tervezési tanácsadás, tűzkár veszteségcsökkentés,*
9. *Konklúziók, ajánlások a szabványok javítására egy hatékonyabb tűzvédelemre*

Bevezetés

- *A trafó **tűz** valószínűsége **kicsi,** de nem elhanyagolható és a következmények **súlyosak**.*
- *E célból a WG áttekintette a lehetséges trafó tüzeket, **számszerűsítette** a tűz és a tank felhasadás **valószínűségét,** megvitatta a belső ív fizikáját valamint a trafó tűz **kockázatát** és annak **csökkentési lehetőségeit**.*
- *Fontos megállapítás: a legkritikusabb a tűz hatásának csökkentése céljából, hogy el kell kerülni tank **felhasadást**, **az olaj kifolyását**, a katasztrofális tűz miatt.*
- *Ezért ez a tanulmány megpróbálja definiálni a tank **felhasadás kulcs** paramétereit.*
- *Az **eredmények** a jelenleg rendelkezésre álló modell kísérletekből, laboratóriumi vizsgálatokból, a **gyakorlatból származnak**.*
- *A tűz kezdődhet magában a trafóban és keletkezhet máshol is: itt leginkább a **trafóból eredő tűzre**, a trafóra és a környező berendezésekre koncentráltak.*

A tűz fizikája és tipikus tűz leírások

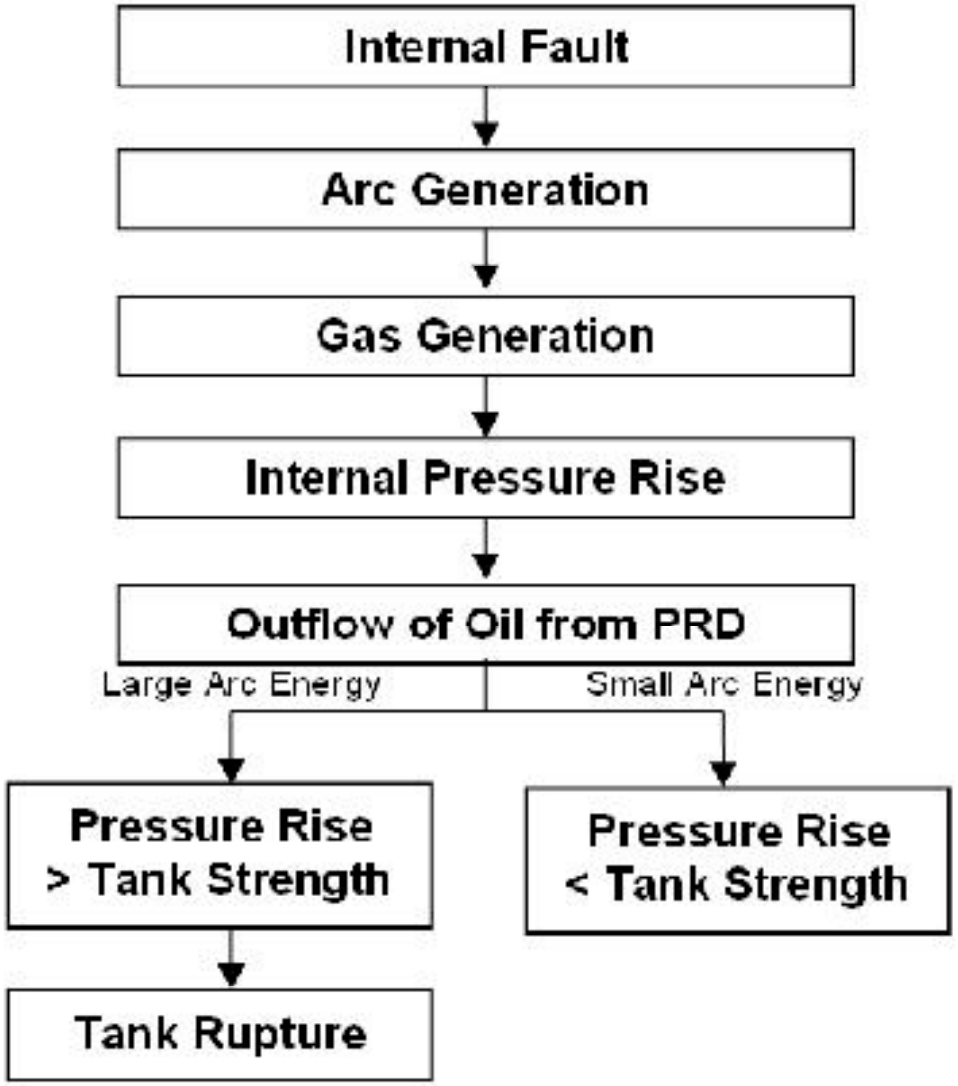
- *A tűz kockázata: a tűz háromszög jó grafikus képet ad, hogy mi szükséges a tűzhöz keletkezéséhez, fenntartásához, ill. kioltásához.*
- *Ahhoz, hogy tűz keletkezzen és tovaterjedjen három kulcs elem kell: hő, éghető anyag, megfelelő arányban oxigén.*
- *Ha bármelyik hiányzik, nem keletkezik, ill. ha eltávolítjuk égő tűz esetén a tűz kialszik.*
- *Trafó esetén villamos és kémiai forrásból származhat a hőenergia.*
- *Esetünkben a villamos források közül a legfontosabb az ív hőenergiája, a kémiai hőenergia származhat robbanástól, ill. éghető anyag égésekor.*



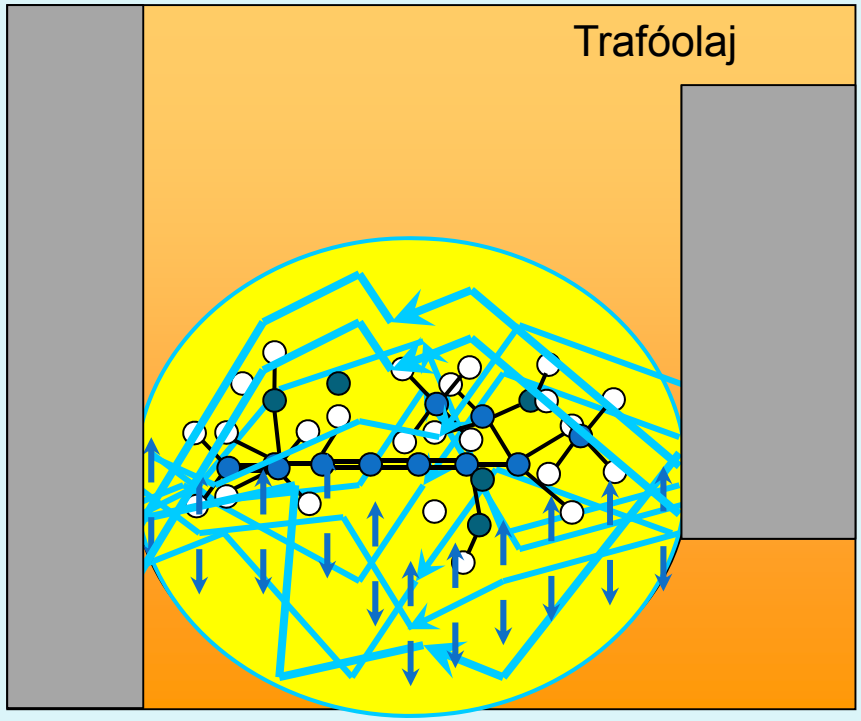
- *Hogyan keletkezhet tűz a trafóban? Belső vagy külső átíveléstől.*
- *Igen fontos a külső tűztől történő trafó tűz, de a WG figyelme a trafó belső tüzére irányult.*
- *Trafón belüli zárlati ív fizikája: alapvető fontosságú, hogy megfelelően járjunk el.*
- *Legkézenfekvőbb a belső zárlat miatti ív, mégis leggyakrabban átvezető ill. kábel-trafó csatlakozó szekrényekben keletkezik zárlat, felszakadnak ezek a zárt részek és átterjed a trafóra.*
- *Ív keletkezik, robbanás lehet, éghető gázok meggyúlódhatnak, felhasadhat a trafó tank, kiömlik majd meggyullad az olaj.*
- *Éghető gázokat el kell vezetni, az ívet hűteni kell, stb. hogy elkerüljük a robbanás és az azt követő tüzet.*
- *A következő folyamatábrán láthatók az elvégzendő számítások: a gyártó ellenőrizheti, hogy adott védelmi paraméterek mellett a tank felhasadhat vagy nem.*
- *Mint korábbi előadásokból látható volt, ezt a SERGI TP teljesíti (WG nem említhet senkit név szerint).*

Folyamatábra a gyártó által elvégzendő számításokra:

- *milyen lesz a túlnyomás,*
- *milyenek a védelmi idők,*
- *mennyi lehet a zárlati áram, stb. azaz, ellenőrizheti, hogy adott esetben a* ***tank felhasadhat vagy sem.***



Olaj elgőzölögtetés és ívképződés



Rövidzárlat
Villamos áram a trafó 2 pontja között

Hő átvitel az olaj felé (Joule effect) ↓ **Elgőzölögtetés**

Gáz buborék – olajgőz

Olaj gőz kisebb molekulákká bomlása

Gáz buborék
Kis ellenállású gázok

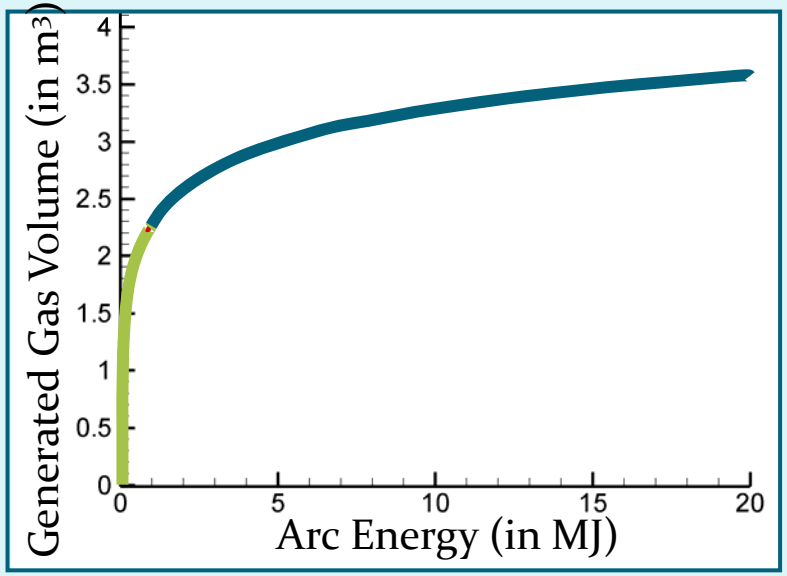
Kisebb ellenállás ↓ = nagyobb áram

Teljesen kifejlődött villamos ív – plazma

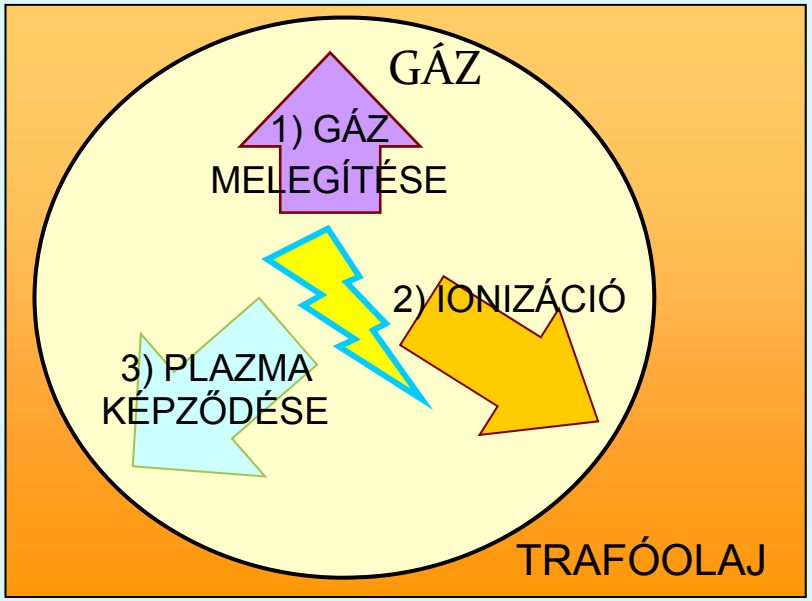
1

Fontos jelenség: olaj elgőzölgés és ívképződés – analízis

b) Mérések



c) Fizikai magyarázat:



ELGÖZÖLÖGTETÉS TELITŐDÉSE

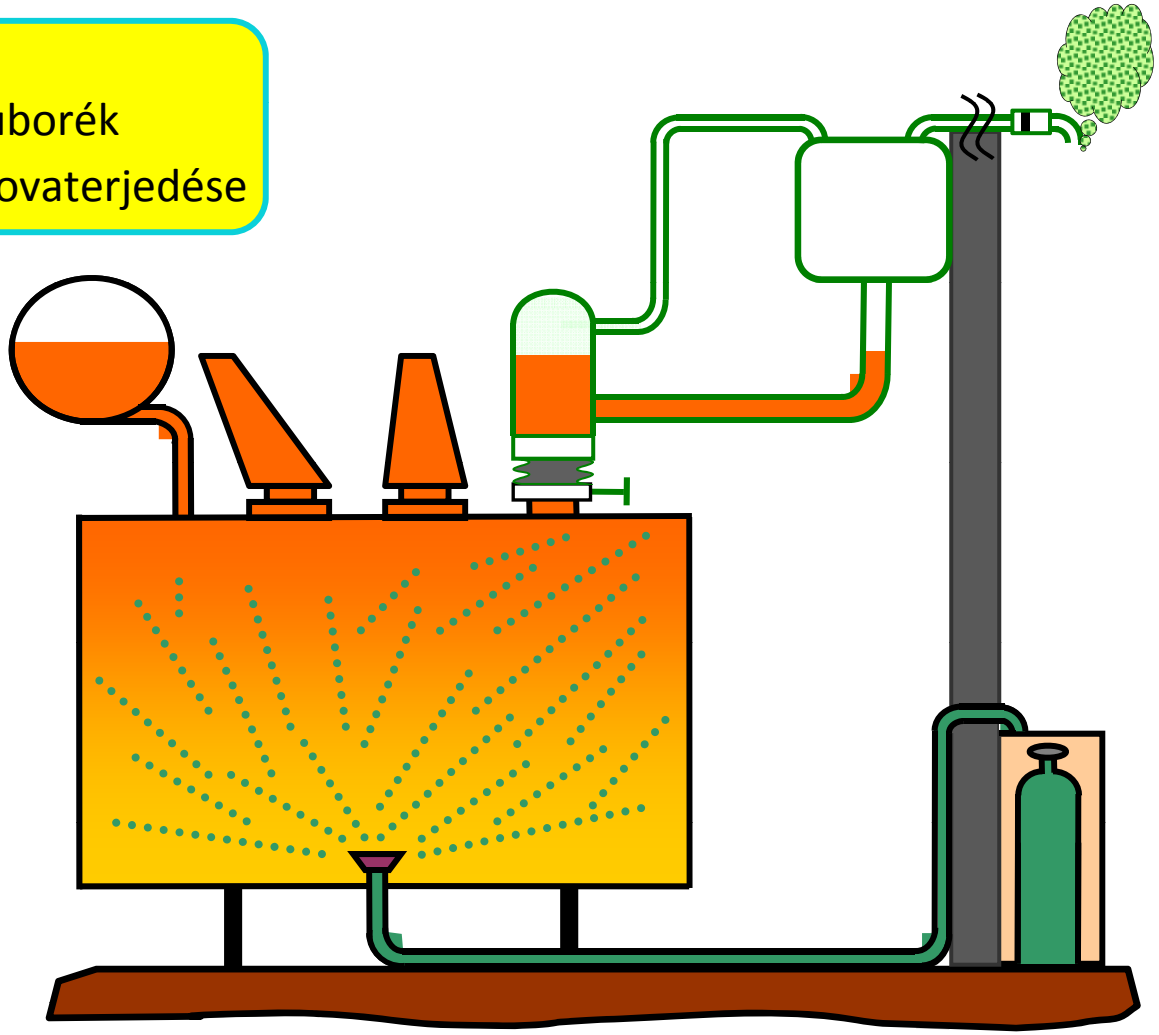
jelenik meg és stabilizálódik amikor az ívet gáz veszi körül

- Villamos ív
- Túlnyomásos gázbuborék
- Dinamikus nyomáscsúcs tovaterjedése

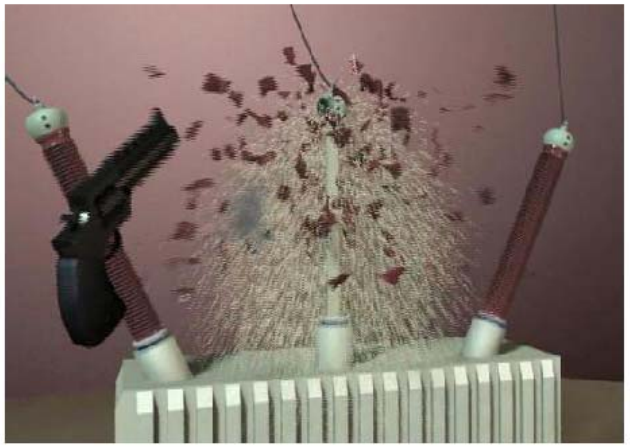
- Robbanó gázok visszamaradnak
- A tekercsek olvadó részei még gázokat fejlesztenek

Hűteni kell, pl. inert gáz befecskendezés

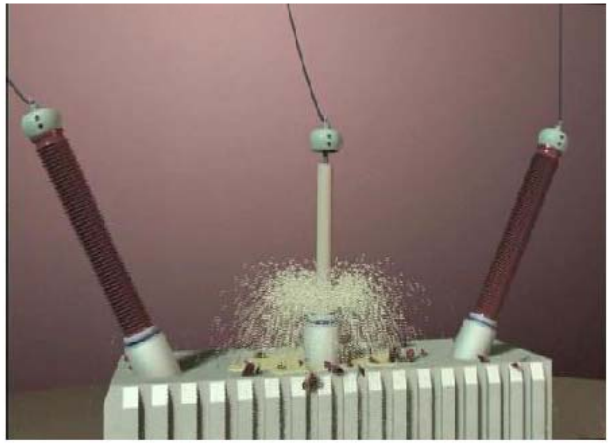
Ki kell üríteni a robbanógázokat, a megolvadt részeket le kell hűteni



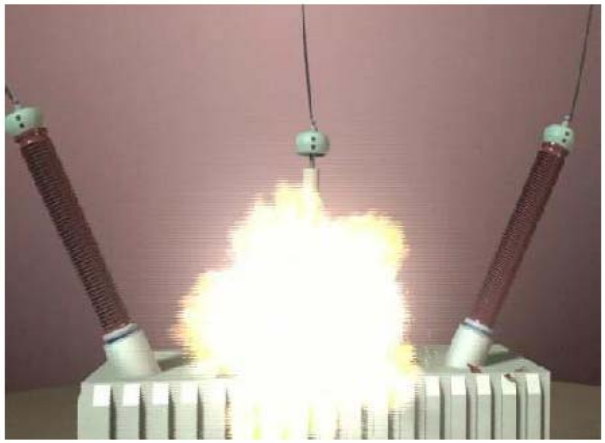
Átvezető meghibásodás folyamata:OIP típus okozza a legtöbb trafótüzet



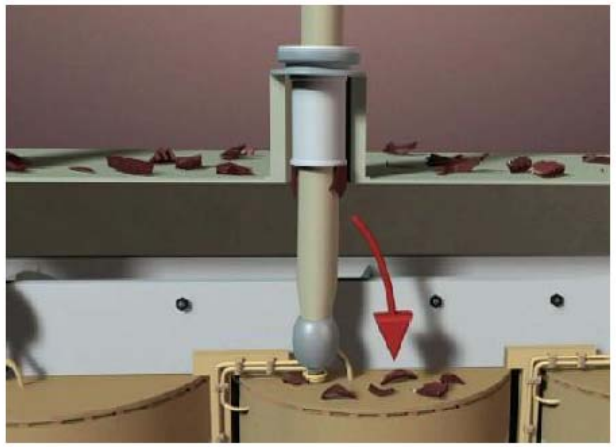
a) Porcelain can explode under internal arcing



b) Bushing collapses into the transformer



c) Oil ignites



d) Oil side porcelain breakage

Figure 3: Typical Bushing Fire Scenario [22]

*-A **trafótűz hatása** az alállomásra:az okozott kár **2-3-szorosa** a trafópótlás költségének, nem számítva a **kiesett energia** okozta veszteséget.*

A transzformátortűz valószínűsége

- *Amikor a **tervezési fázisban** a trafó tűz biztonsági kérdésekről tárgyalnak és mérlegelik milyen **megelőző módokat** alkalmazzanak, és mennyit költsenek rá, előtt **át kell tekinti** az alábbiakat:*
- *Megbecsülni, mi a trafótűz valószínűsége?*
- *Mit okoz a trafótűz?*
- *Milyen sérülés többlettel jár, ha nagyobb kockázatú megoldást választunk?*
- ***Kevés a trafótűz valószínűséggel foglalkozó tanulmány**, ezért a CIGRE megpróbált statisztikai adatokat gyűjteni a trafótüzekre.*

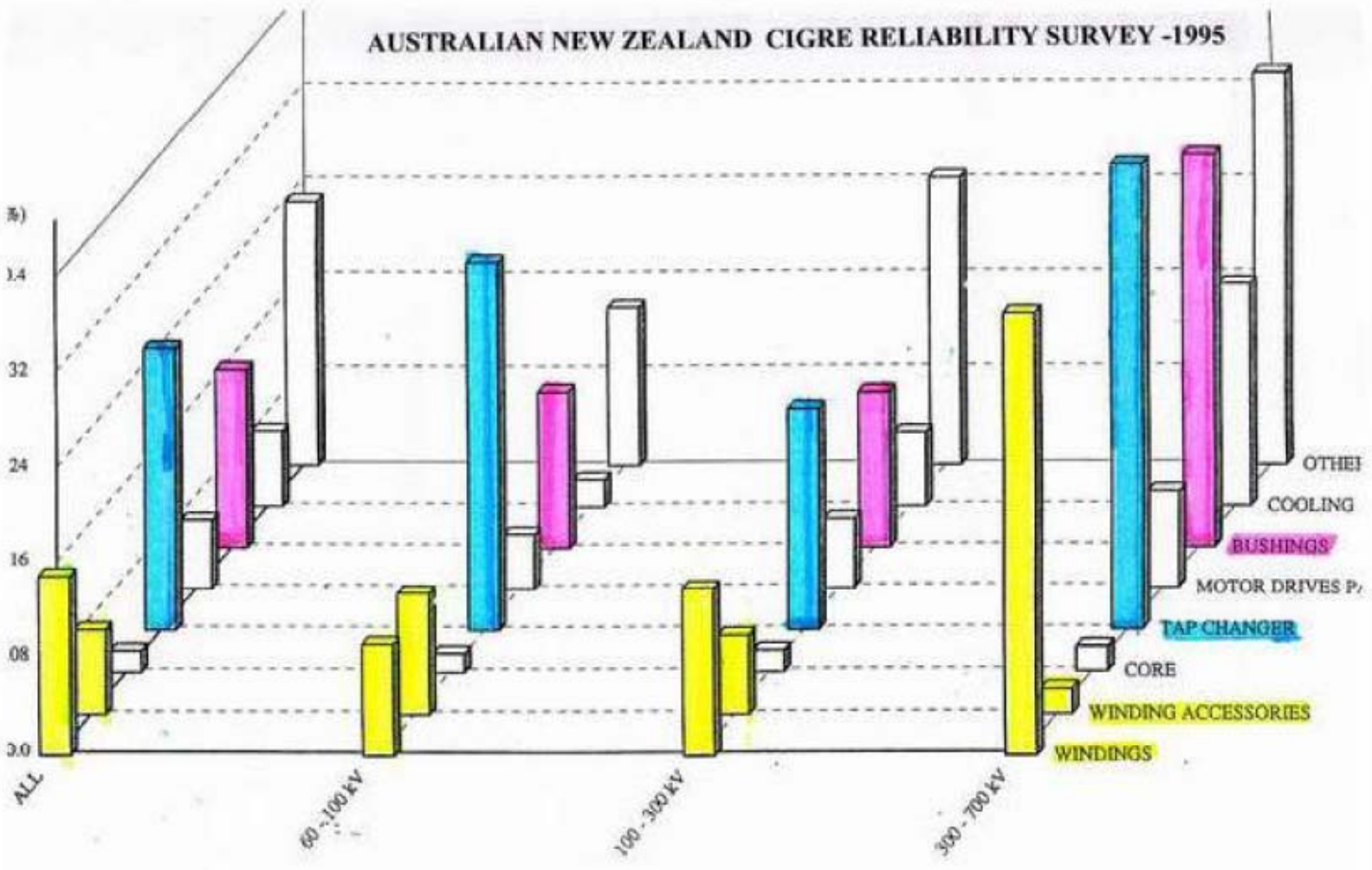
1. táblázat: CIGRE 1983 transzformátor meghibásodási statisztika

Age of transformers [Years]	Winding Highest Voltage [kV]						All Transformers	
	60 - < 100		> 100 - 300 <		> 300 - 700 <		> 60 -700 kV	
	Transformer-years	Failure % p.a.	Transformer-years	Failure % p.a.	Transformer-years	Failure % p.a..	Transformer-years	Failure % p.a.
0 - 5	3444	2.8	7795	1.7	2912	1.9	114151	2.01
>5 - 10	3891	2.1	7471	1.9	2055	2.5	13417	2.05
>10- 20	8533	1.7	9698	2.2	1267	3.2	19498	2.06
Total	15868	2.03	24964	1.96	6234	2.41	47066	2.04

2. táblázat: CIGRE Ausztrália – Új-Zéland megbízhatósági statisztika

Transformer Type	Units	60< kV <100	100< kV	300 <kV <700	Total
Power station Dbl wound	482	1.33%	0.88%	2.36%	1.14%
Substation Dbl Wound	2040	0.73%	0.90%	1.80%	0.79%
Auto Transformers	363	2.42%	1.00%	1.40%	1.28%
Voltage regulators	21	1.04%			1.04%
Total	2906	0.85%	0.90%	1.73%	0.97%
			Costly failures Rate		0.4 %
			Fire Rate		0.01%

Transzformátor meghibásodási statisztika feszültség szintenként és komponensenként



3. táblázat: a főbb kanadai szolgáltatók 1965-1985 közötti trafótüzei

Voltage Class [kV]	Failure rate/year (%)	Fire incidence in % of failures	Fire incident rate /year (%)
735 (Transformers)	2.32	9.5	0.22
735 (Reactors)	3.15	11.4	0.36
315	0.84	21,9	0.18
230	0.49	15.8	0.08
161	0.50	0	0.00
120	0.6	2.6	0.02
Average	**1.21**	**8.38**	**0.14**

4. táblázat: főbb kanadai szolgáltatók trafó robbanás és tűzeseti statisztikái

Table 4 : Statistics by a major Canadian Utility 1965 -1985: Explosion vs. Fire

Voltage Class [kV]	Explosions	Major oil spill	Fires
735	15	9	8
315	3	2	1
230	2	1	1
161	0	0	0
120	5	3	3
Total	**25**	**15**	**13**

5. táblázat: főbb kanadai szolgáltatók 1965-1985 közötti adatai: robbanások és tüzek

Fault location	Explosion	Fire	Fire rate %
Bushings	25	11	44
HV lead to tank	15	9	60
HV Lead to bushing turret	8	4	50
Within windings	21	0	00
OLTC, Core and others	9	0	00

6. táblázat: ívenergia, tank felhasadás, tűz statisztika 735kV trafók és fojtók esetén

Arc Energy (MJ)	Tank Ruptured	Resulted in a Fire
1.0	No	No
2.5	No	No
4.0	No	No
6.0	No	No
8.0	Yes	No
Between 8.5 and 13	Yes	Yes
14	Yes	Yes
Between 19 and 23	Yes	No
20	Yes	No
Between 26 and 67	Yes	Yes
94	Yes	Yes
147	Yes	No

7. táblázat: trafó meghibásodás és tűz valószínűségi statisztika egyéb forrásokból

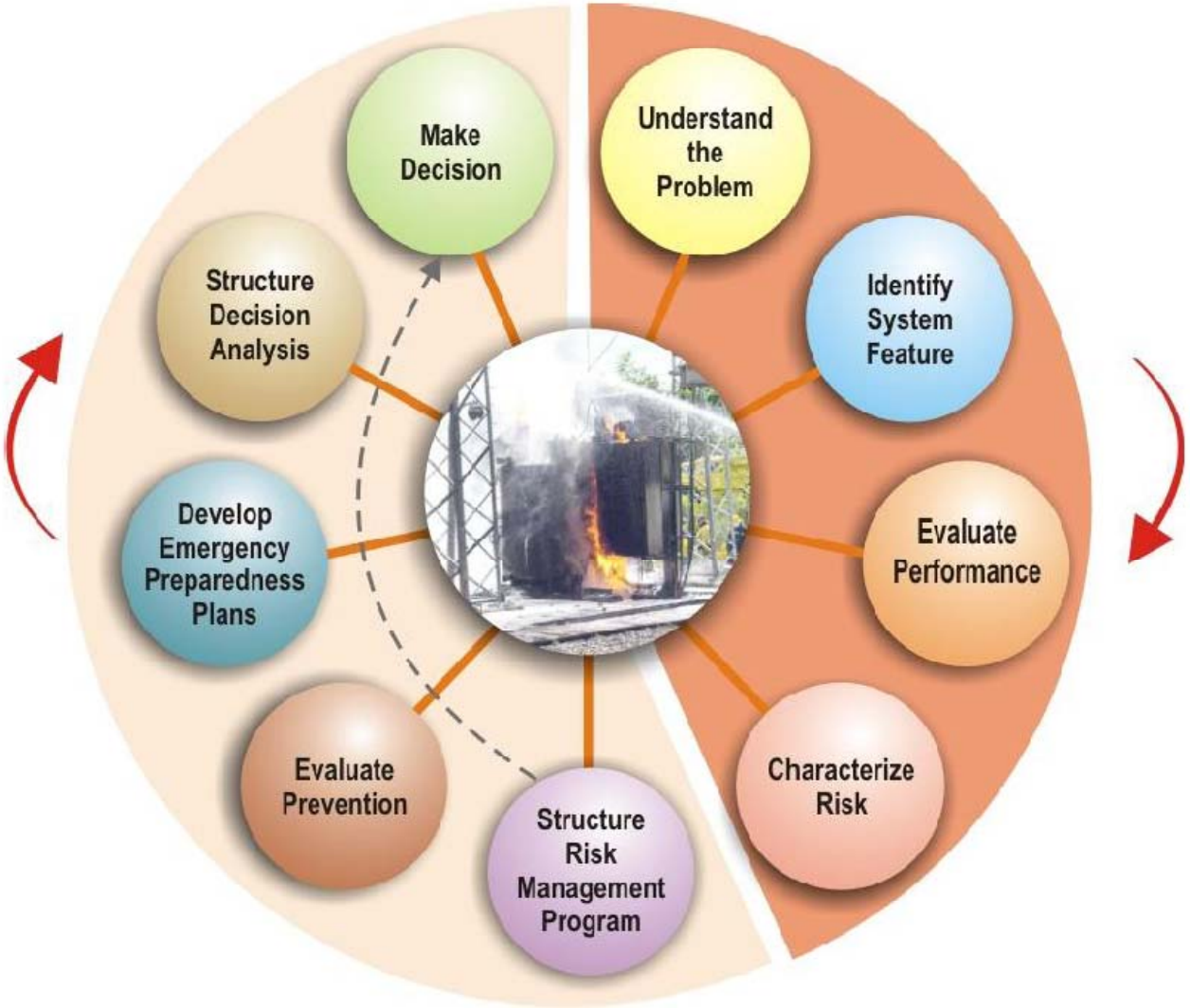
Utility	Transformer population (approx)	Rate of Serious Failures (%p.a.)	Rate of Transformer Fires (%p.a.).
Germany National Statistics		0.6	0.06 (Anecdotal - 10 % of Serious Failures)
RTE, France	1300	0.6	0.05
Eskom, SA	600	-	0.16
National Grid, UK	780	0.3	0.015
Swedish State Power Board Transmission	1300	-	0.02 (3 fires in 10 Years)
Swedish State Power Board Hydro stations	100	-	< 0.05 (no fire in 20-30 years)
Japan (1991-2001)		0.054	0.00012

8. táblázat: megengedhető ívenergia tartomány háromfázisú hagyományos tankkal rendelkező trafók esetén

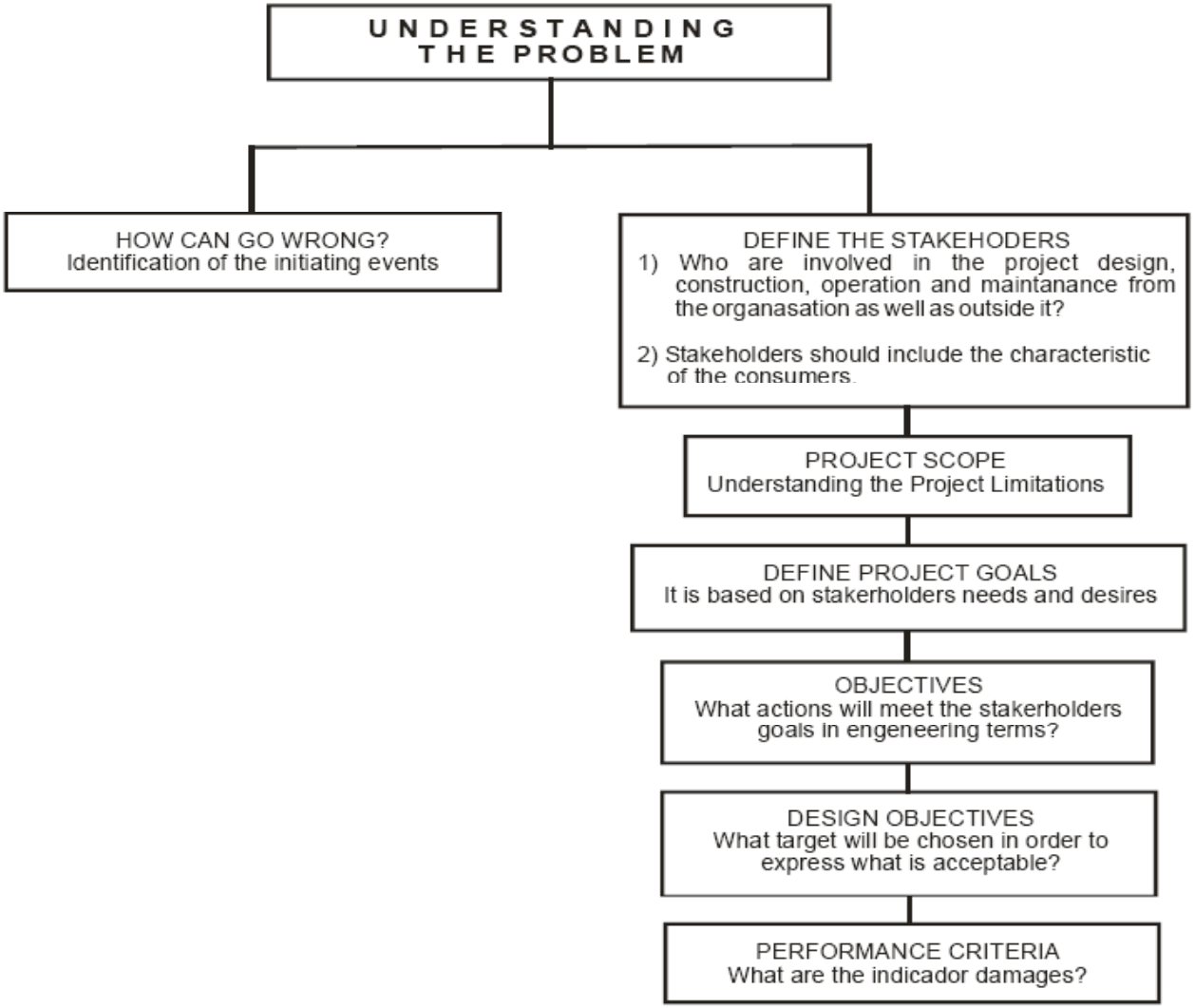
Voltage (kV)	Lower (MJ)	Upper (MJ)
500 – 800	4.0	10.0
275 – 400	3.5	8.0
132 – 170	3.0	6.0
100 – 120	2.0	4.0

Szakadó membrános rendszerrel felszerelt trafó

Tűz kockázat menedzselési rendszer



A probléma megértése

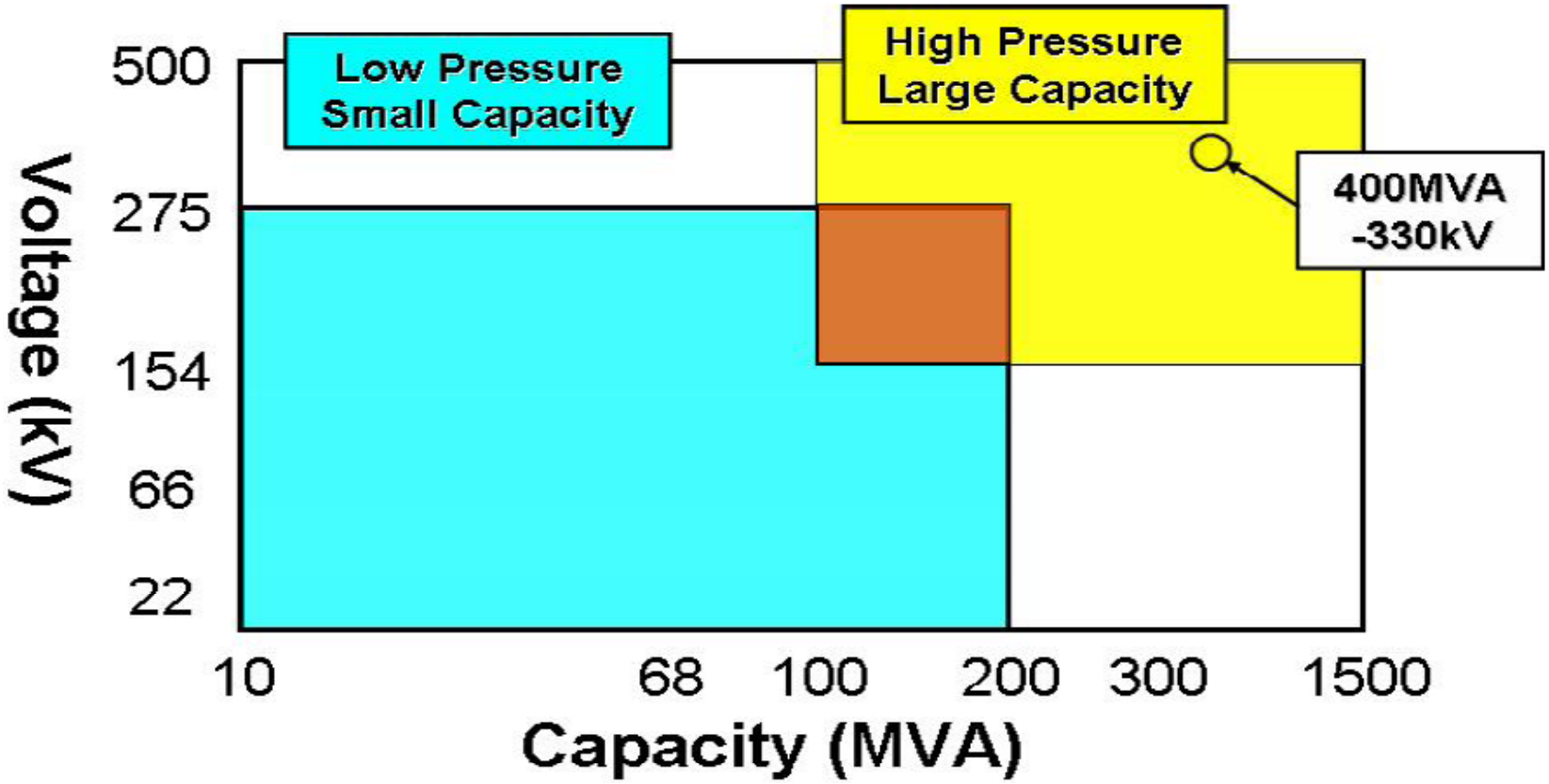


A teljes környezetre kiterjedő trafótűz

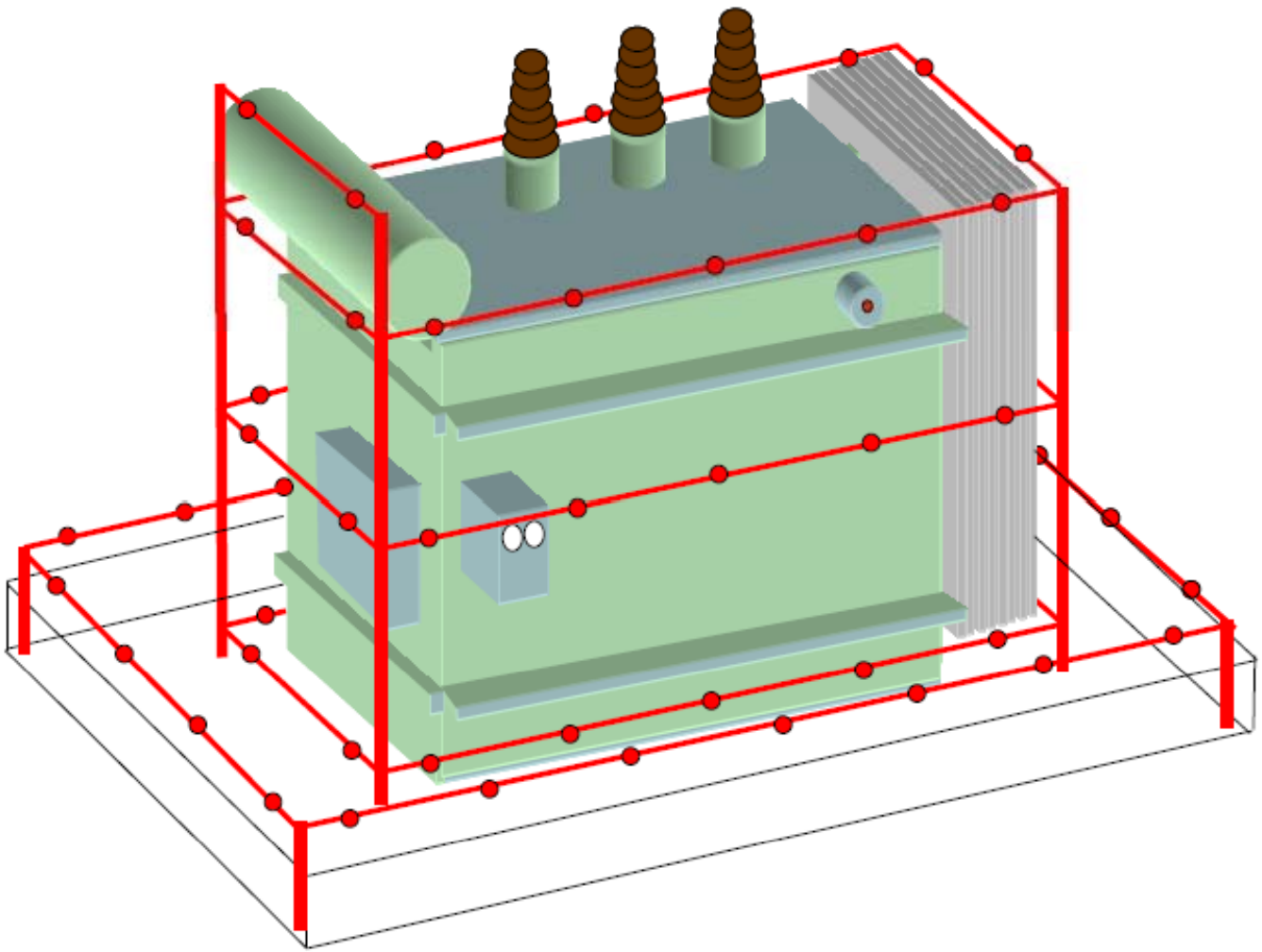
Kis nyomású 110kV-50MVA-es GIT (gáz szigetelésű trafó)

Nagy nyomású 275kV-300MVA-es GIT (gáz szigetelésű trafó)

GIT (gáz szigetelésű trafó) alkalmazási tartomány



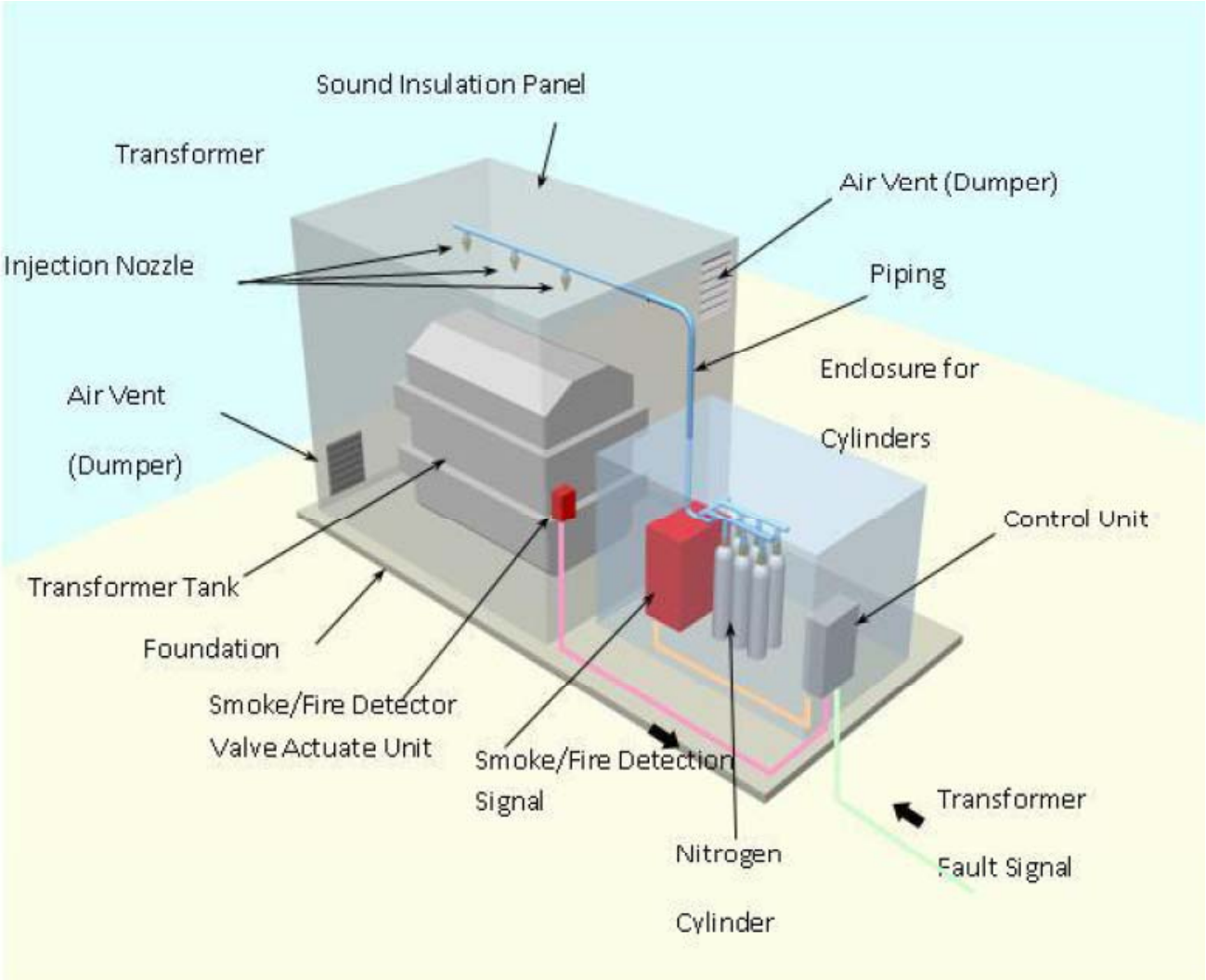
Trafó tűzoltó berendezés



Vízzel oltó rendszer

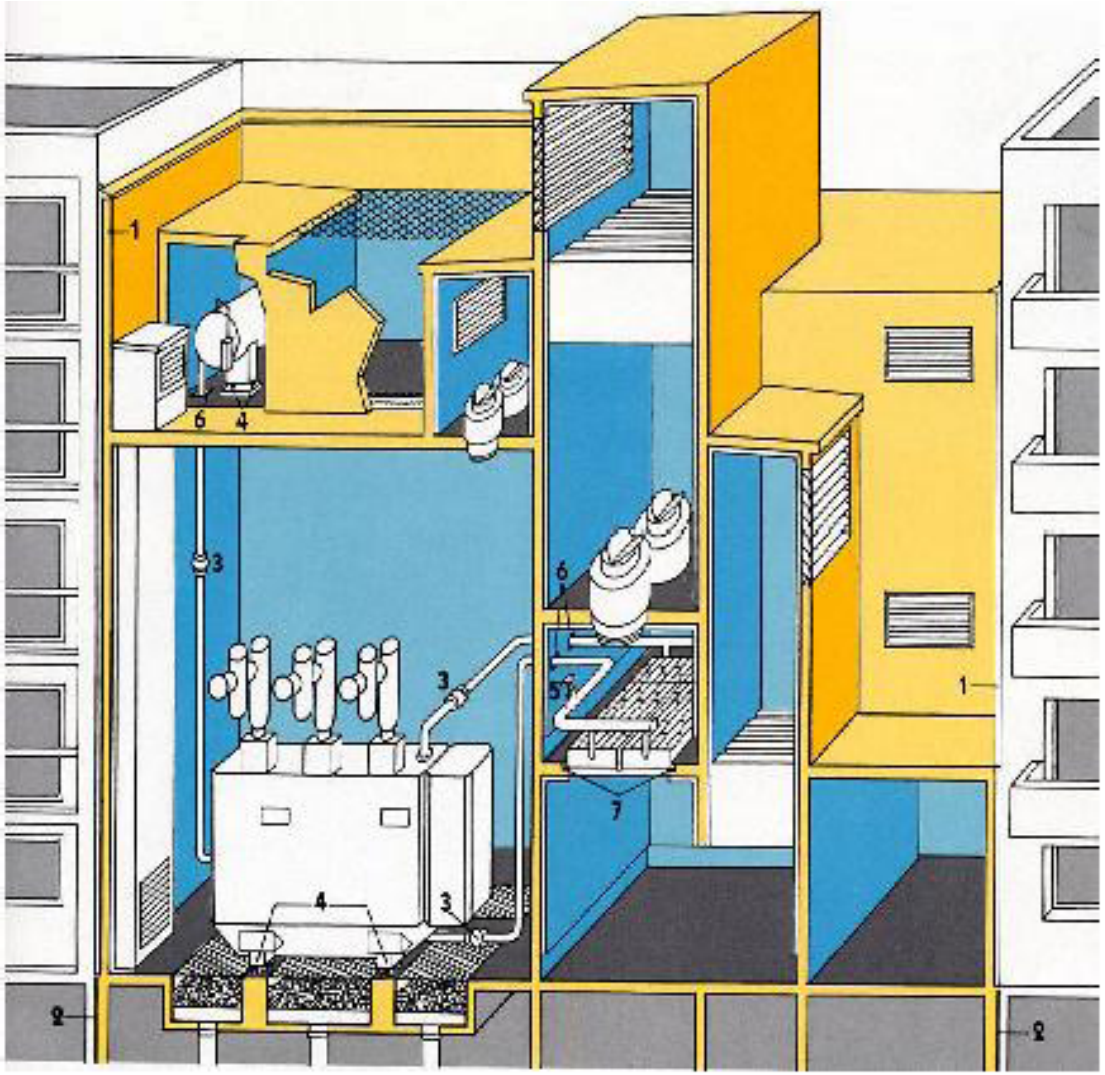
Vízfüggönyös védőrendszer Japánban

Trafó zajvédő burkolat nitrogén gáz védelmi rendszerrel



Trafó zajvédő burkolat nitrogén gáz védelmi rendszerrel

Épület belsejében működő trafók tűzvédelmi megoldásai



Épület belsejében működő trafók tűzvédelmi megoldásai

SF6-os trafó - Sydney

Konklúziók

1. *A trafóval kapcsolatosan a **tűz eloltása** mellett igen fontos a **tűz megelőzése.***
2. *A jelenlegi szabványok főleg **a tűzoltásra adnak részletes előírásokat**, a speciális **trafó tűz megelőzésre kevésbé**.*
3. *A trafó tűz megelőzésére vonatkozó szabványelőírások **nem betarthatók**, mert az alkalmazott védelmi berendezések korlátozottan alkalmasak, mert **nem akadályozzák** meg a robbanást, majd az azt követő tüzet.*
4. *Ezek az eszközök a trafó belső zárlata miatti robbanást, trafó felhasadást az esetek döntő többségében még **elvileg sem képesek megakadályozni**.*
5. *A trafótüzek megakadályozása céljából döntő fontosságú a **belső zárlat miatti robbanás és azt követő tűz megakadályozása.***
6. *A magyar előírások szinte mindent tartalmaznak, ami a trafó robbanás és tűzvédelmére vonatkozik, **„szétszórva" az OTSZ-ben is rögzítve** vannak, de nem úgy, mint az amerikai NFPA 850 és 851-ben, ahol megnevezik a TP-t.*
7. *Meglepő, hogy az OTSZ előírásait a megoldások nem teljesítik, itt jöhetne szóba a TP, ha tényleg eleget akarunk tenni az OTSZ előírásainak.*

Köszönöm a figyelmet

6.6.2 Tank Strength Requirements

A prerequisite requirement for good tank design is knowledge of the required tank strength. In the absence of a standard for required strength for tanks to withstand internal arcing fault, it is recommended that the reader refers to Chapter 4: of this document for guidance, unless he has better methods at his disposal.

However, it should be noted that guidance provided in this document cannot and does not guarantee that this will ensure that the transformer tank has the required strength to protect the transformer tanks from rupture under all internal arcing faults conditions and certainly not from a fire, as only a minor part **of transformer fires originates from tank rupture**.