
Krafttransformatorer och shuntreaktorer - Förslag på förlustvärdering för Svenska kraftnät.

FoU-arbete som bedrivits under ca 2 års tid av Svenska kraftnät tillsammans med en extern konsult som ett led i arbetet mot en ledande roll för en hållbar och säker elförsörjning.



Syfte

1. Att definiera och konkretisera Svk:s mål att ha en "ledande roll för en säker och hållbar elförsörjning" vid upphandling av krafttransformatorer och shuntreaktorer.
2. Försöka att besvara frågan vad 1 kW förluster i elnätet är värt idag?
3. Att ge verktyg för att göra en förlustvärdering och att uppskatta dess konsekvenser.

Livscykelkostnad TCO

$$\text{TCO} = \text{Investeringskostnad} + A \times P_o + B \times P_k + A \times P_{\text{kyl}}$$

P_o = tomgångsförluster

P_k = belastningsförluster

P_{kyl} = kylarförluster

Förlustvärderingsfaktorerna A och B för transformatorer och reaktorer har framräknats med antagna parametrar från WACC, energikostnad och livslängd.

Resultat

Förlustvärderingarna för transformatorer, med den förväntade livslängden 50 år, vid tomgång och kylning (faktor A), respektive belastning (faktor B) föreslås enligt:

$$A = 100\ 000 \text{ kr/kW}$$

$$B = 35\ 000 \text{ kr/kW}$$

För shuntreaktorer, med den förväntade livslängden 40 år, föreslås faktor A enligt:

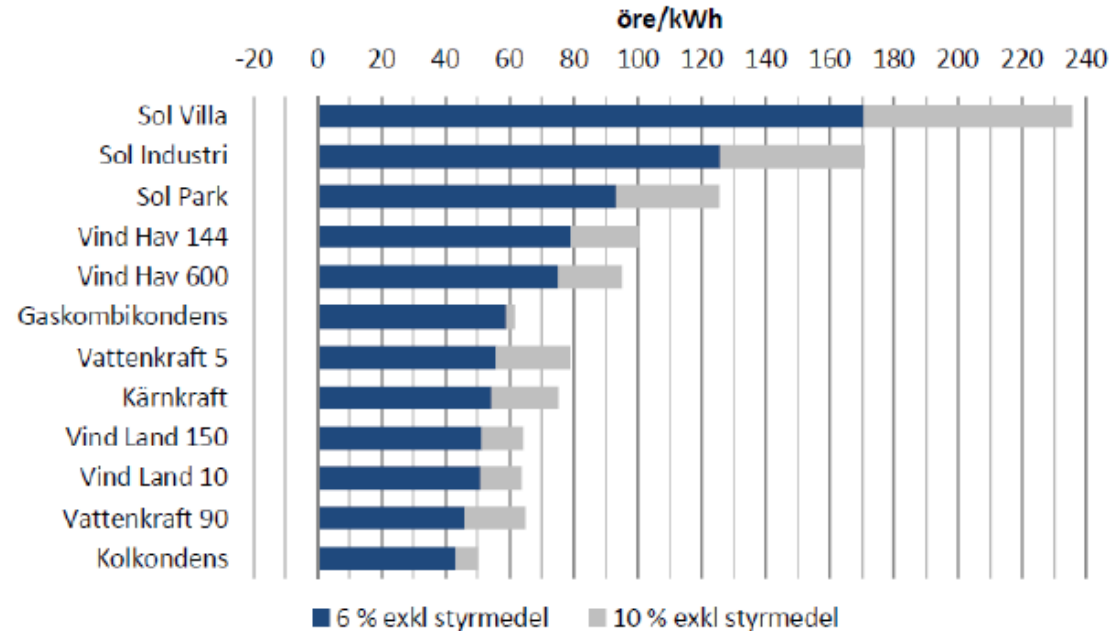
$$A = 60\ 000 \text{ kr/kW vid 12 timmars belastning per dygn}$$

Ovanstående värden på faktorerna A och B för transformatorer och A för shuntreaktorer, kan tjäna som pedagogiska riktvärden för hela elnätsbranschen i Sverige.

Sveriges installerade transformatoreffekt är ca 228 000 MVA.
Uppskattade transformatorförluster är ca 3 TWh per år.

	Nätförluster [TWh]	Transformatorförluster [TWh]
Stamnät	3	0,201
Regionnät	2,5	0,799
Lokalnät	4,5	1,2
Produktion	-	0,765
Summa	10	2,965 \approx 3

Elproduktionskostnader enligt Energiforsk 2014



Figur 1. Elproduktionskostnader för kommersiella tekniker som enbart producerar el, exkl. styrmedel, med 6 respektive 10 % kalkylränta.

Faktor A för krafttransformatorer

Faktor A = 8760 × produktionspris × nuvärdesfaktor

$$A = 8760 \times 0,60 \times 26 = 136\,000 \text{ kr/kW (3 \%)}$$

$$A = 8760 \times 0,60 \times 22 = 115\,000 \text{ kr/kW (4 \%)}$$

$$A = 8760 \times 0,60 \times 16 = 84\,000 \text{ kr/kW (6 \%)}$$

Faktor B för krafttransformatorer

$$B = A \times (S/S_r)^2$$

Med antagandet att $S/S_r=0,5$ erhålls:

$$B = 0,25 \times (8760 \times 0,60 \times 26) = 34\,160 \text{ kr/kW (3 \%)}$$

$$B = 0,25 \times (8760 \times 0,60 \times 22) = 28\,750 \text{ kr/kW (4 \%)}$$

$$B = 0,25 \times (8760 \times 0,60 \times 16) = 16\,000 \text{ kr/kW (6 \%)}$$

Faktor A för shuntreaktorer

För shuntreaktorer, som antas gå 12 h per dygn med 100 % last, och med en förväntad livstid på 40 år istället för 50 år (lägre nuvärdesfaktor), fås:

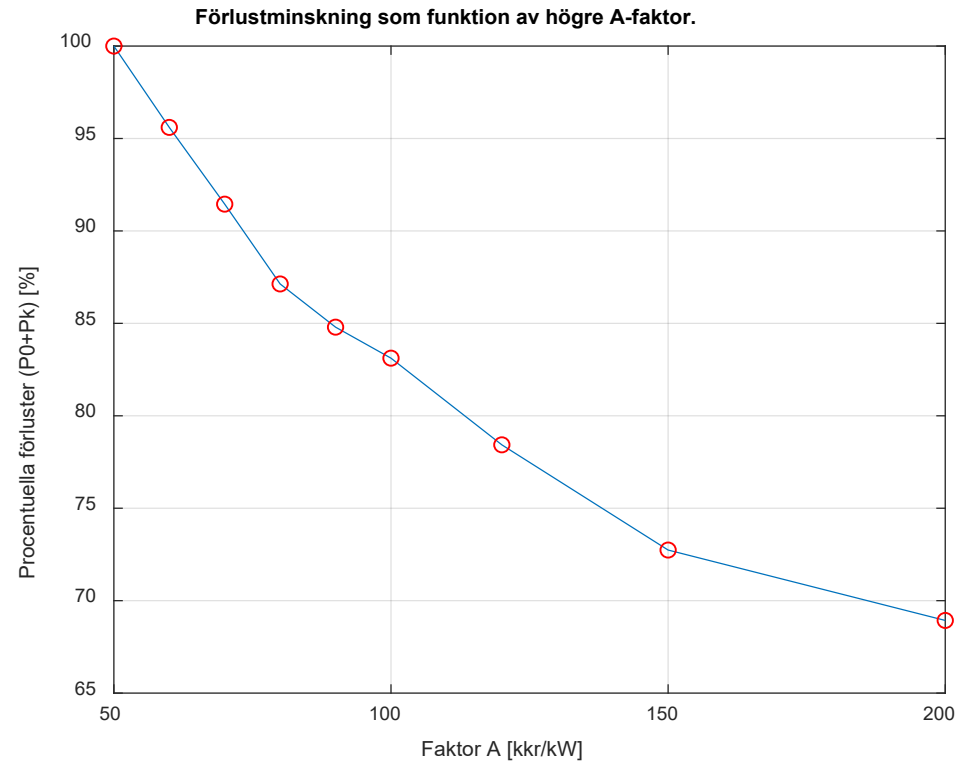
$$A = 8760/2 \times 0,60 \times 23 = 60\ 000 \text{ kr/kW (3\%)}$$

$$A = 8760/2 \times 0,60 \times 20 = 53\ 000 \text{ kr/kW (4 \%)}$$

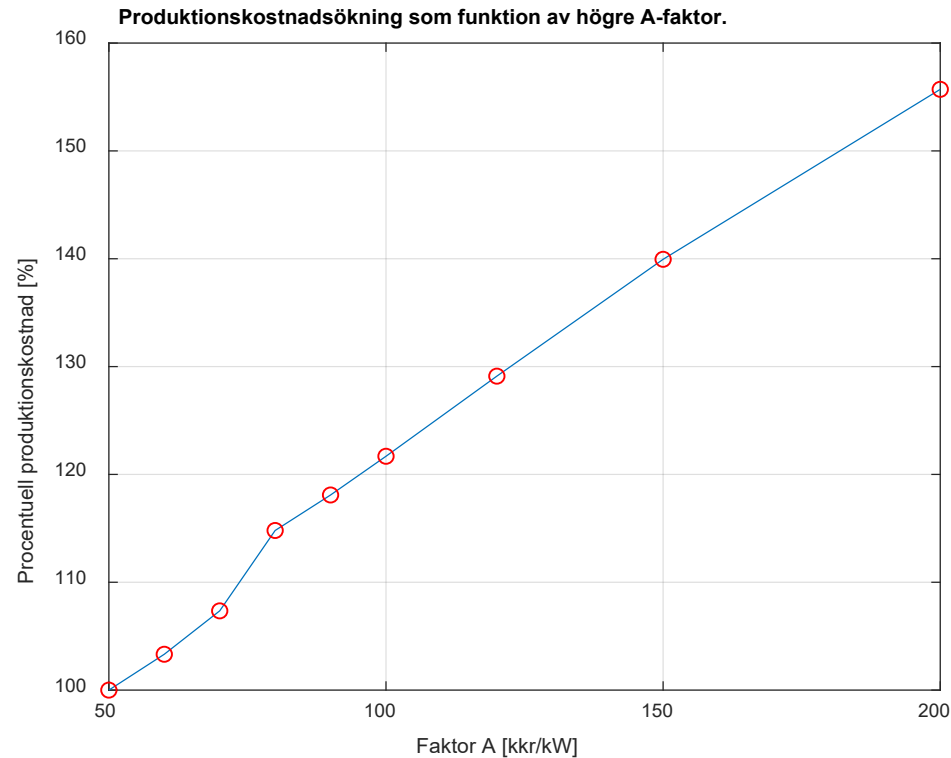
$$A = 8760/2 \times 0,60 \times 15 = 39\ 000 \text{ kr/kW (6 \%)}$$

Reaktorer som ständigt är inkopplade bör behandlas på samma sätt som vid beräkning av tomgångsförluster för transformatorer, dvs. $A = 100\ 000 \text{ kr/kW}$

Förlustminskning vid högre förlustvärderingar för en 240 MVA, 240/130 kV, trelindningstransformator



Produktionskostnadsökning vid högre förlustvärderingar för en 240 MVA, 240/130 kV, trelindningstransformator



Tillförlitlighet kontra förlustvärdering (Cigré 2015)

Analys av felorsaker från 964 allvarliga fel

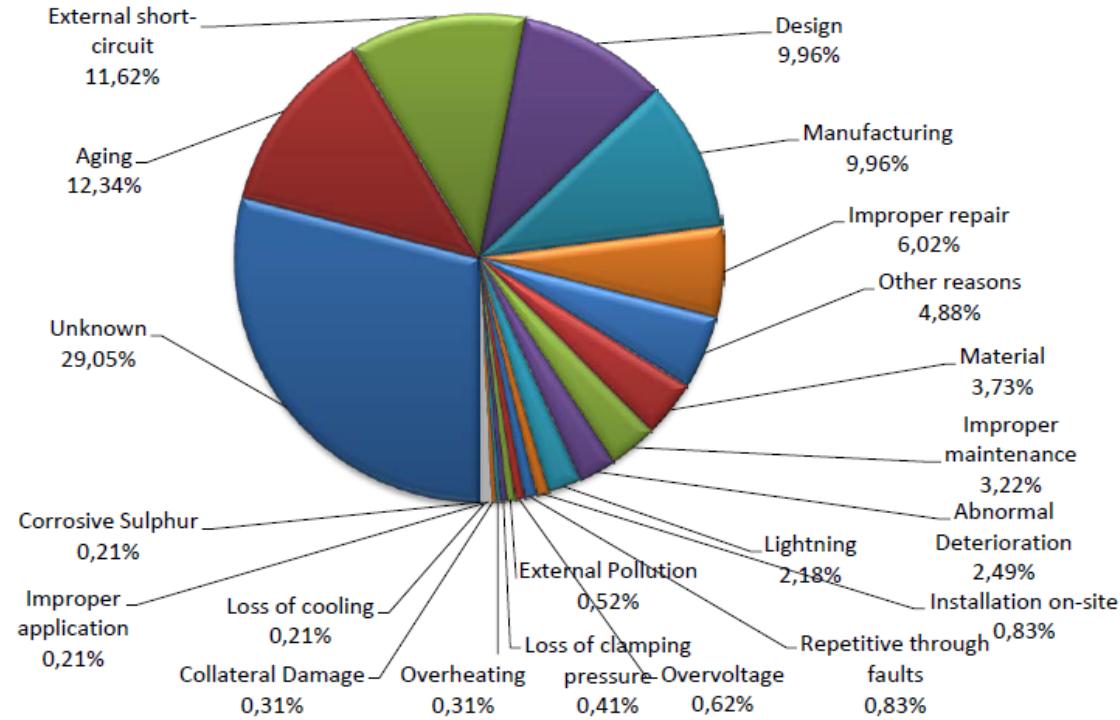


FIGURE 45: FAILURE CAUSE ANALYSIS BASED ON 964 MAJOR FAILURES

Tillförlitlighet kontra förlustvärdering (Cigré 2015)

Analys av felens lokalisering hos 536 fel i systemtransform.

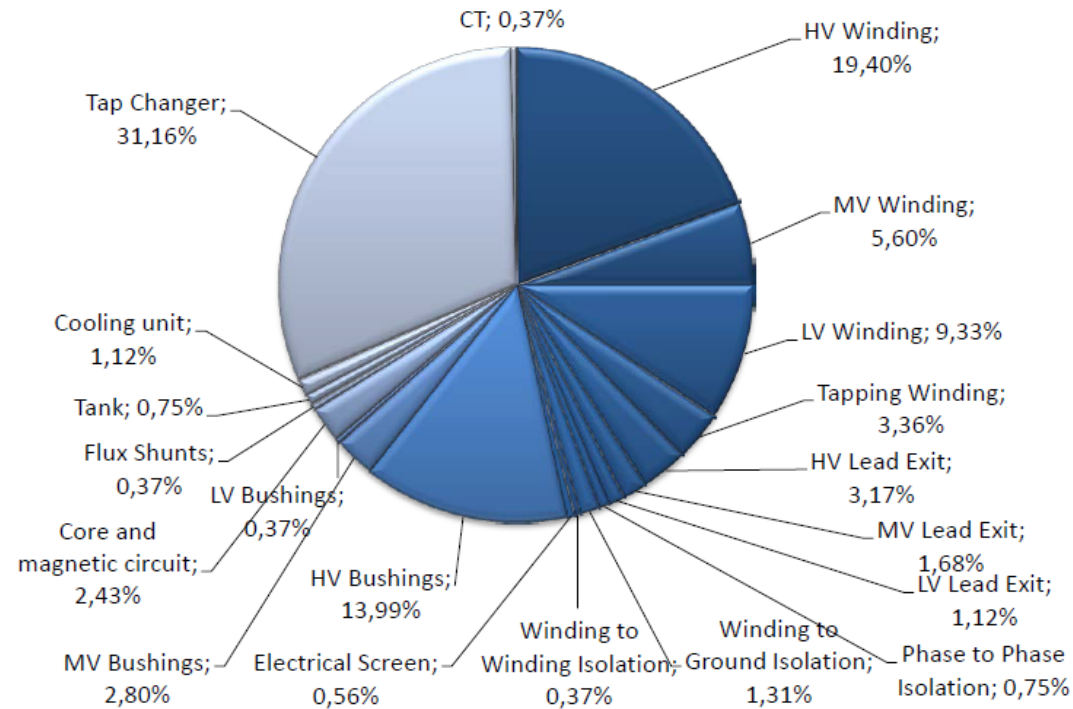


FIGURE 36: FAILURE LOCATION ANALYSIS, SUBSTATION TRANSFORMERS, U_≥100KV, 536 FAILURES

Tillförlitlighet kontra förlustvärdering

Bilderna ska tolkas som att de största riskerna finns för lindningsfel.

Högre förlustvärdering minskar mekaniska och termiska påkänningar på lindningar.

Kvalitetsvinster

Författarna har försökt uppskatta de kvalitetsvinster som följer av tillförlitlighetsökning, mindre kylkostnader, ljudnivåsänkning och ökade skrotvärden. Bedömning är att det kan röra sig om ca 5 % av investeringskostnaden, baserat på:

- En tillförlitlighetsökning skulle kunna innebära att man i förtid slipper köpa en ny transformator. Värdet av detta kan uppskattas till ca 50 %, som med en haveririsk på ca 1 % blir värt ca 0,5 %.
- Ett minskat kylbehov till följd av lägre förluster uppskattas vara värt ca 1 %.
- En reducerad ljudnivå på 3-4 dB(A) uppskattas vara värt ca 3 %.
- Ett ökat skrotvärde uppskattas vara värt ca 0,5 %.

Vid gjorda antaganden fås sammantaget vid ett års upphandling för Svenska kraftnät

- En förlustminskning vid nuvärdesberäkning värd 11,3 mnkr
- Ökad investeringskostnad för ett års upphandling på 2,4 mnkr
- Ökad kapitalkostnad på 1,9 mnkr
- En möjlig ökad avkastning på 1 mnkr för stamnät enligt föreskrift från Ei. Detta effektivitetsincitament har Ei, som nu har föreskriftsrätt, infört i den nya effektivitetsregleringen för 2020-2023.
- En möjlig tariffökning genom att använda de högeffektiva transformatorernas anskaffningsvärde i kapitalbasen för avskrivningar och ökad avkastning.
- Svenska kraftnät får då vid en nuvärdesberäkning ett positivt nuvärde på $11,3 + 1,0 + 1,9 - 2,4 - 1,9 \approx 9,9$ mnkr
- Till detta kommer kvalitets- och miljövinster

Vid gjorda antaganden fås sammantaget vid ett års upphandling för Sverige

- En förlustminskning vid nuvärdesberäkning värd 281 mnkr
- Ökad investeringskostnad för ett års upphandling på 102 mnkr
- Ökad kapitalkostnad på 80 mnkr
- En möjlig ökad avkastning på 21,6 mnkr för region- och lokalnät enligt föreskrift från Ei. Detta effektivitetsincitament har Ei, som nu har föreskriftsrätt, infört i den nya effektivitetsregleringen för 2020-2023.
- En möjlig tariffökning genom att använda de högeffektiva transformatorernas anskaffningsvärde i kapitalbasen för avskrivningar och ökad avkastning.
- Elnätsbolagen får då vid en nuvärdesberäkning ett positivt nuvärde på $281 + 21,6 + 80 - 102 - 80 \approx 200$ mnkr
- Till detta kommer kvalitets- och miljövinster

Slutsatser

Om WACC kommer att ligga mellan 3-4 % och framtida energipriser, med eller utan CO₂ –skatter, kommer att pendla kring 0,5 kr/kWh, bör faktor A sättas till minst 100 000 kr/kW för stamnätet och högre för regionnät och lokalnät beroende på ägardirektiv.

Faktor B sätts i enlighet med: $B=A \times (S/S_r)^2$

Om detta görs över hela Sverige för alla transformatorupphandlingar så uppskattas förlustminskning från dagens nivå att bli ca 18 000 MWh per år från och med 2020.

Dessutom fås positiva nuvärden för varje år på ca 200 mnkr, kvalitets- och tillförlitlighetsvinster, samt miljövinster som blir betydande i en nordeuropeisk elmix.

Rapporten

Rapporten finns tillgänglig och kan skickas till den som så önskar.