

Alette Sederholm
Sten Åfeldt
Föreningen Hedox för markkabel i Södermanland

Kommentarer kring några frågor angående kraftledningar till Oxelösund

Föreningen Hedox har några frågor kring tekniken kring luftledningar och kabel för kraftledningar. Här nedan kommer dessa frågor att belysas.

Inledning.

Vattenfall planerar att bygga två nya kraftledningar till järnverket i Oxelösund. Vid järnverket planeras försök göras för att tillverka järn utan utsläpp av koldioxid genom en process som kallas Hybrit där vätgas används för direktreduktion. Processen kommer att ske i en ljusbågsugn. Ljusbågsugnen behöver enligt Jacob Sandberg, teknisk chef för SSAB Special Steels, 200 MW. Svenska kraftnät har gett tillstånd för effektuttaget från stamnätet och Vattenfall projekterar två 6 till 8 mil långa kraftledningar till järnverket från stamnätet.

Den nya ljusbågsugnen är tänkt att ersätta de två befintliga masugnarna, som har en produktion av 1,5 miljoner ton råstål per år. I den nya processen behövs dock stålet senare värmas upp. SSAB planerar därför att använda naturgas inledningsvis för uppvärmning innan en övergång till biogas sker. I både Oxelösund och Borlänge förbrukas totalt motsvarande energin 2 TWh för uppvärmning. En ny hamn för naturgas skall därför byggas i Oxelösund.

Naturgas (metangas) har kraftigare miljöpåverkan än koldioxid. Ett ton metangas har 25 gånger större påverkan än ett ton koldioxid. Det är därför viktigt att inga utsläpp av naturgas sker. En jämförelse med koldioxidutsläppen vid driften av masugnar och med Hybrit-metoden vore intressant att ta del av. (källa: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-konsumtionsbaserade-utslapp-fran-exporterande-foretag/Koldioxidekvivalenter/>)

Under år 2026 planeras en provdrift starta och produktionen skall ske i större skala år 2035. (källa: <https://www.mynewsdesk.com/se/stordaahd-kommunikation-ab/news/oxeloesunds-jaernverk-bygger-om-foer-koldioxidfri-staalproduktion-387940>)

I en tekn. licentiatuppsats från KTH år 2003 undersöks elnätet hos SSAB avseende detektering av fel i elnätet, [källa: Fast fault detection for power distribution systems](https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:7484/FULLTEXT01.pdf), Magnus Öhrström, ISSN 1650-2003-06 (https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:7484/FULLTEXT01.pdf). Elnätet hos SSAB i Oxelösund beskrivs här på sidan 70. Syftet med arbetet är att undersöka om en befintlig generator kan inkopplas för att öka kortslutningseffekten. Resultatet visar att med snabb fel detektering kan generatorn användas då verkets 10,5 kV-nät är för svagt för normal inkoppling. Rapporten ger också en intressant

inblick i järnverkets elnät.

Enligt rapporten matas järnverket med tre 130 kV kraftledningar. Kortslutningseffekten vid anslutningspunkten i verket är 2250 MVA. Den generator de ämnar ansluta har en effekt på 81,25 MVA vid 10,5 kV och drivs med processgaser från järnverket.

I uppsatsen finns även följande en-linjediagram.

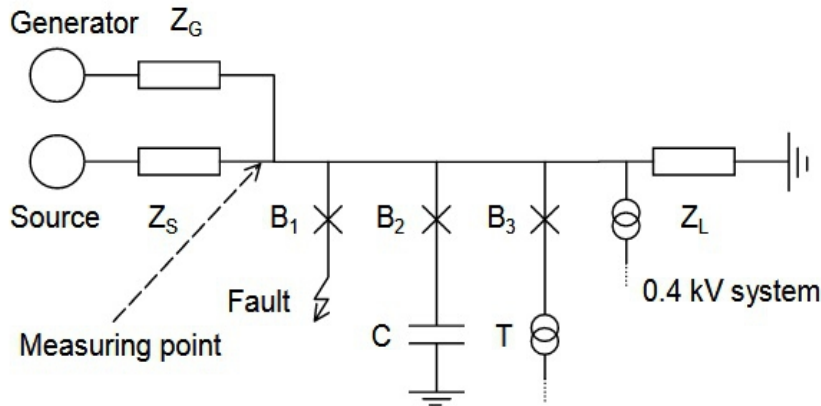


Figure 7.5. SSAB case study single line diagram

Figur 1: Figur från en licentiatuppsats om feldetektering i elnät. SSAB i Oxelösund undersöktes i uppsatsen.

Värt att notera är att det tydligen finns ett kondensatorbatteri på 4,08 MVar (117,8 μ F). En eventuell reaktiv effektproduktion i en ny anslutande kabel kan därför ersätta detta batteri!

Enligt uppsatsen mättes den maximala strömmen 1,75 kA på 10,5 kV-nivån, vilket sägs vara 1,5 gånger normal lastström. Strömmarna på inkommande 130 kV kraftledningar kan nu bestämmas då omsättningen är känd. Lasten i järnverket sägs motsvara en induktiv impedans på $Z_L = 5,84 + j 2,83$ ohm/fas. De inkommande tre 130 kV kraftledningarna representeras av spänningskällan Source med en inre impedans som är nätets kortslutningsimpedans. Den kan bestämmas då kortslutningseffekten är känd.

Det vore intressant att se hur SSAB hade tänkt ansluta de två nya 130 kV ledningarna. Skall de anslutas parallellt med de befintliga tre 130 kV ledningarna och förstärka det lokala 10,5 kV nätet? En troligare lösning är att de separerar de nya kraftledningarna och ljusbågsugnen från det befintliga nätet för att minska störningarna från ljusbågsugnen på övriga delar i deras process.

En intressant fråga är också hur elnätet till SSAB skall se ut efter år 2035? Skall de då ha kvar de tre befintliga 130 kV ledningarna samt de två nya 130 kV ledningarna då masugnarna läggs ned? Eller kan någon av de befintliga ledningarna användas för ljusbågsugnen? Vad är framtida effektbehov? Finns det

en beräkning med nuvarande och framtida effektbehov? Behöver SSABs stålverk i Oxelösund matas med fem stycken 130 kV kraftledningar? Varför inte ersätta befintliga kraftledningar med en eller två 230 kV eller 400 kV ledningar istället för att bygga nya 130 kV ledningar för anslutning till stamnätet?

Kommentarer kring markkabel och deras egenskaper.

Följande punkter har framförts av Vattenfall.

Impedansen

- *Kablar har låg impedans och drar därför på sig högre ström i ett maskat system*
- *I maskade kabelnät finns risk för oönskade effektflöden – drivs därför oftast radiellt (t.ex. storstäder)*
- *Dimensioneras N-2 (lång reparationstid. Klara ytterligare fel under tiden)*
- *Dra på sig effekt, måste dimensioneras för höga flöden*

Dessa punkter kan omskrivas i två påståenden; att kablarna dimensioneras med låg impedans och att de därför kan överbelastas i ett nät vid paralleldrif med luftledningar.

Att kablar dimensioneras med låg impedans är korrekt. Detta görs därför att kylningen ofta är sämre i mark än för frihängande ledningar i luft. Kablar har därför större ledningsarea och lägre resistans för att hålla nere effektförlusterna och temperaturökningen vid drift. En fördel med detta är dock att förlusterna för kraftöverföringen blir lägre. I ett livslängdsperspektiv har kablar lägre totala förluster för en överföring än en luftledning. Skillnaden i livscykelkostnad mellan de två blir därför mindre.

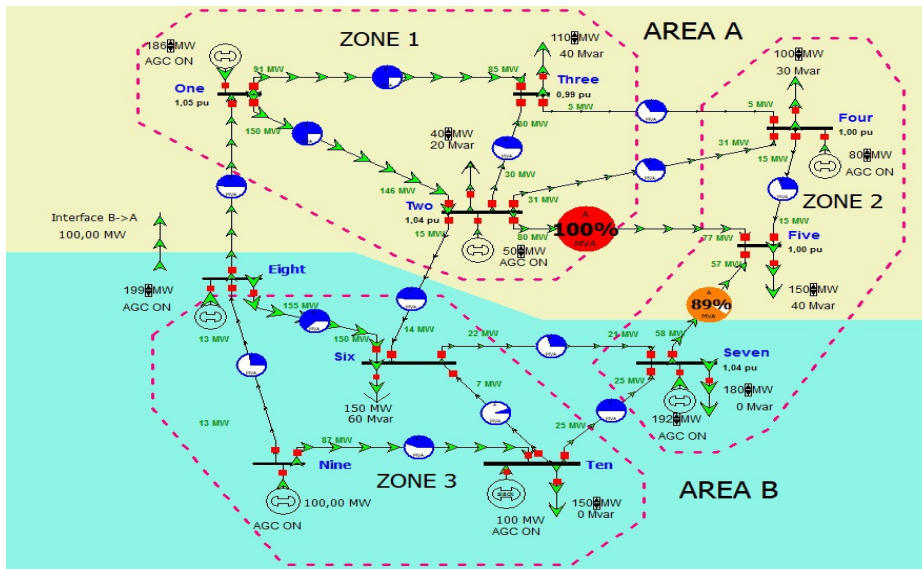
Att kablar skulle överbelastas vid paralleldrif (maskade nät) kan förekomma vid felaktig dimensionering. I städer, som Borås, har det lokala energiföretaget byggt om sitt elnät till paralleldrif (maskat) för att öka driftsäkerheten. Kraven för paralleldrif är välkända, för att inte överbelasta någon av de matade transformatorerna måste bland annat deras kortslutningsparametrar vara lika i pu (per unit, procent). Detta kan beskrivas med liknelsen att paddla tvåmanskanot eller cykla tandemcykel. Hur delas på lasten rättvist? En rimlig fördelning är efter förmåga, i elsammanhang säger vi märkeffekt.

Paralleldrif är därför vanligt i städer och kunskapen hur man hanterar det finns. Kraftbolagen har tillgång beräkningsprogram, som Siemens PSSE, där hela deras nät kan analyseras i olika driftfall. En kabel som är ansluten parallellt med en luftledning får där olika andelar av dess maximala ström angiven i procent. Kraftbolagen kan med dessa beräkningar enkelt undersöka hur strömmar fördelas mellan olika ledningar i olika driftfall. Vattenfall överdriver svårigheterna med att mata ett nät parallellt med en kabel och en luftledning. Samma problem fås om man parallellkopplar två luftledningar med olika längder! För att undvika dessa problem gör kraftbolagen beräkningar vid dimensionering och installation av nya ledningar.

Att dessutom bygga två luftledningar och motivera det med att det behövs en extra som reserv är förvånande. Lägg då istället ned tre kabelpaket, ett som reserv och två parallellkopplade för drift!

Dessutom, skulle inte dessa ledningar gå direkt till järnverket och inte kopplas ihop med övrigt nät? Då uppstår det inga problem med underliggande nät som matas felaktigt!

Bifogar nedan ett exempel från ett beräkningsprogram (PowerWorld) som undertecknat använt i min undervisning. Här ser vi ett enlinjediagram för ett maskat nät. De olika kraftledningarna är olika hårt belastade, vilket syns i cirklarna i ledningarna mellan de olika ställverken kallade från One till Ten. De aktiva effekternas riktning syns som pilar. Ledningen mellan ställverk (bus eller nod) Two och Five är 100% belastad! Med detta eller liknande program kan eventuella uträkningar med maskad drift av kablar och luftledningarna i ett nät enkelt lösas, vilket kraftbolagen naturligtvis regelbundet gör.



Figur 2: Exempel på ett maskat elnät (varje linje representerar en trefas ledning). Fyllningen i de runda cirklarna visar ledningens belastning av dess märkkapacitet.

Kommentarer kring felströmmar.

Följande punkter har framförts av Vattenfall.

Felströmmar

- Höga felströmmar p.g.a. låg impedans
- Kräver extra komponenter, t.ex. isolertransformatorer
- Personsäkerhetsrisk, måste övervakas
- Komplex i ett nät som växer/förändras

Felströmmarna bestäms huvudsakligen av hur stor kortslutningseffekten är, inte om det är en kabel eller luftledning. I detta fall vill förmodligen Vattenfall ha hög kortslutningseffekt, för en ljusbågsugn skapar lätt störningar och funktionssättet likar en kortslutning. Det är därför de bygger separata kraftledningar till Svenska kraftnäts stamnät, för att inte störa andra på nätet. Kortslutningsströmmarna och eventuella felströmmarna i dessa ledningar bestäms av vilken kortslutningseffekt SSAB önskar i sin ljusbågsugn. I inledningen ovan har beskrivits en licentiatuppsats SSABs utmärkta förmåga att analysera och bryta felströmmar i järnverket.

Kommentarer kring reaktiv effekt.

Följande punkter har framförts av Vattenfall.

Reaktiv effekt

- *Bildas i kablar p.g.a. fasförskjutningar*
- *Påverkar hur spänningen hålls i nätet*
- *Högre förluster*
- *Kräver kompensering med shuntreaktorer*

Ja, reaktiv effekt bildas i kablar i större utsträckning än i luftledningar. Ett enkelt sätt att förklara det är att vi har en ledningen över ett jordplan. Materialegenskaperna i luften jämfört marken är olika, därför är kapacitanserna per km olika. En effekt av reaktiv effekt är fasförskjutning mellan ström och spänning, men det är inte orsaken till reaktiv effekt.

Ja, reaktiva strömmar ger ledningsförluster i ledningar. Men produktion av reaktiv effekt är också av godo i induktiva nät. Troligtvis kommer ljusbågsugnen hos SSAB att dra stora mängder reaktiv effekt. Att kunna förse ugnen med denna effekt från nätet istället för att behöva installera shuntkapacitanser i järnverket måste vara ekonomiskt intressant. Studera den inledande figuren med SSABs elnät, där det redan nu finns ett kondensatorbatteri installerat.

Att förse ljusbågsugnar med reaktiv effekt är ett effektivt sätt att minska deras nätstörningar, som flicker. Ljusbågsugnar är en starkt icke-linjär last med stor nätpåverkan. Med hög kortslutningseffekt (vektorbeloppet av aktiv- och reaktiv effekt) minskas störningarna.

Vid längre avstånd, cirka 7 mil beroende på spänningsnivå och ledningens egenskaper, kan den reaktiva effekten behöva minskas med kompensering om den inte förbrukas i lasten. Men i detta fall är troligtvis ljusbågsugnen stark induktiv och en stor del av den reaktiva effekten behövs.

Kommentarer kring resonans och transienter.

Följande punkter har framförts av Vattenfall.

Resonans och transienter

- *Nätets egenfrekvens påverkas av kabel*
- *Risk för stora svängningar och höga spänningar som skadar komponenter och orsakar avbrott*
- *Stor utmaning på höga spänningsnivåer*
- *Ju mer kabel, desto större risk, komplext att bedöma och åtgärda, kräver därför försiktighetsprincip*

Ja, elektriska näts egenskaper, som egenfrekvenser, påverkas av elnätets elektriska parametrar. Men även luftledningar har elektriska egenfrekvenser. Problemet i detta fall med en stor ljusbågsugn är att det alstras övertoner i ljusbågsprocessen. Dessa övertoner förs ut på kraftledningen till anslutningen mot stamnätet. Oavsett om det är en kabel eller luftledning kommer dessa övertoner att kräva åtgärder, om inte förr, allra senast vid stamnätets ställverk. Ingenjörsmässigt är tumregeln att eliminera övertonerna vid källan, vid ljusbågsugnen. Inte vid andra ändor av kraftledningen. Om övertonerna

filtreras i järnverket är denna fråga ett icke-problem. Med övertoner på kraftledningen blir det problem med kablar men också med isolationen i transformatorer och annan utrustning i sändarsidans ställverk mot Svenska kraftnät. Troligtvis accepterar inte Svenska kraftnät ett så pass kraftigt övertonsinnehåll.

Kommentarer kring avbrott.

Följande punkter har framförts av Vattenfall.

Avbrott

- *Delvis kablfiering – kablar i ett maskat landsbygdsnät sårbart för överspänningar och strömmar vid åsknedslag*

Ja, ifall kraftbolaget inte installerar ventilavledare fås problem vid övergången mellan luftledning och kablar. Men med bara luftledningar fås problem mot konsumenter eller vid kraftbolagets transformatorer om inte ventilavledare installeras. Det normala är därför att det installeras ventilavledare på dessa ställen.

Kommentarer kring felavhjälpning.

Följande punkter har framförts av Vattenfall.

Felavhjälpning

- *Svårt att lokalisera kabelfel*
- *Lång reparationstid 2-7 dagar (i värsta fall veckor) jmf med mindre än 24 h för luftledning*
- *Sammantaget 60 ggr högre tillgänglighet för luftledning*

Vad gäller lokalisering så finns det lämplig mobil utrustning, kabelradar, som kan bestämma kabelfel på metern när. Moderna kraftföretag har tillgång till denna utrustning. Reparationstiden beror på hur kraftföretaget organiserar sin verksamhet. Om man hyr in personal och inte har egna reparatörer och inte heller har ett eget lager av frekventa reservdelar, som kabelskarvar, blir reparationstiden givetvis lång. Bilden visar en kabelradar, källa: <https://hvinc.com/products/cable-fault-locators/tdr-radar/>



TDR/RADAR

Arc Reflection Radar

Figur 3: En kommersiellt tillgänglig kabelradar.

Påståendet att en luftledning har 60 gångers högre tillgänglighet än en markförlagd kabel stämmer inte

med de fakta som de nordiska och baltiska elkraftföretagen redovisar i "*Nordic and Baltic Grid disturbance statistics 2017 - entsoe*".

Den långsiktiga trenden av fel i kablar i Sverige är sjunkande för 100 till 150 kV ledningar. För år 2017 var det 2 fel på en total kabellängd av 471 km för 100 till 150 kV-nätet. Det blir 0,42 fel per 100 km. Vårt grannland Danmark är bättre, de hade 3 fel år 2017 på 1359 km kabel 100 till 150 kV. Det blir 0,22 fel per 100 km.

För luftledningar 100 till 150 kV är felfrekvensen högre! För år 2017 var det 108 fel på den totala längden luftledning 14960 km. Det blir 0,72 fel per 100 km. Vårt grannland Danmark är åter bättre, de hade bara 3 fel år 2017 på 3013 km luftledning. Det blir 0,30 fel per 100 km.

Slutsatser av rapporten är att felfrekvensen är lägre med kablar än med luftledningar. Det var nästan dubbelt så vanligt med fel per 100 km ledning i luftledning än i en kabel i Sverige år 2017. Även våra grannländer har snarlika förhållanden, att felfrekvensen är lägre i kablar. Värt att notera är också att kabelnätet för 100 till 150 kV ledningar i Danmark är betydande.

Sammanfattningsvis så finns det flera skäl som talar för kablar för matning av järnverket i Oxelösund. Inga avgörande argument mot en kabelförläggning har presenterats.

Öjersås dag som ovan.

J. Hylander
prof. em