UMEÅ UNIVERSITET

Modulbyggda transformatorstationer globalt- en överblick

Modular substations globally - an overview

Julia Ekström

Examensarbete, 15 hp
Högskoleingenjör i energiteknik, 180 hp
Institutionen för tillämpad fysik och elektronik, Vt 2023

Confidentiality: C1 - Public

Abstract
The purpose of the report is divided into three questions, these are how to find information about modular stations, which models have been found and how these are evaluated regarding usability for Vattenfall in Sweden.

Vattenfall has previously used types of modular stations such as the Malte concept, K-fack and some types of mobile switchgear.

It is important to distinguish between the supplier's and netgrid owner's perspectives, as these have different reasons for seeing the positives of modular stations. Some of the advantages from a netgrid owners perspective of a modularly built substation in comparison to a traditionally built one are that it is cheaper, has a shorter project time, is more environmentally friendly and is safer. Vattenfall has produced an equation to be able to compare the benefit between traditional and modular stations, this clearly shows how much better it is to use modular stations.

To answer the first question about how information can be found, the hope was to get answers from several international network owners as this was of greatest interest to Vattenfall. Unfortunately, it turned out to be difficult to get in touch with other network owners as several of them did not have contact routes for a matter like this via their respective websites. Several attempts were made via email, live chat on their websites, forms etc. Attempts like these were also made to suppliers of modular stations, it had a little more success where one of the companies, Schneider Electric, was able to answer all questions regarding their products. During the work, a questionnaire was sent out to some network owners who are contacts to Vattenfall, with a few questions that were compiled. The companies are anonymous in this survey.

The questions were about their experience of working with modular stations, for example which suppliers they used and what lessons they can share. The lessons learned focused on how well planned the specifications for a project should be, in order to reduce the number of models and limit the number of suppliers. Other lessons learned included having an air source heat pump in the module station as it gets very hot inside in the summer. The survey also provided information on which voltages other network owners use module stations at, 20 kV was the most common and it was also a standard solution for some at this voltage.

Specific models were not indicated by the network owners in this form, only which providers they used. Models of modular stations were searched through suppliers' websites, unfortunately there was not much technical information on all websites but it is a good way to see what is available on the market. Other paths such as via ChatGPT and the organization Cegre have also been investigated. ChatGPT proved to be unreliable for this work and the Cegre files scanned had no relevant information for this work. For the valuation, the information from the other network owners was compiled, as this was the most helpful for Vattenfall ahead of future work with module stations.

Confidentiality: C1 - Public

Sammanfattning
Rapportens syfte är uppdelad i tre frågeställningar, dessa handlar om hur man kan hitta information om modulstationer, vilka modeller som hittats och hur dessa värderas angående användbarhet för Vattenfall i Sverige.

Vattenfall har sedan tidigare modulstationer som Maltekonceptet, K-fack och några typer av mobila ställverk.

Det är viktigt att urskilja leverantörs och nätägarperspektiv då dessa har olika anledningar till att se det positiva med modulstationer. Utifrån ett nätägarperspektiv är några av fördelarna med en modulbyggd transformatorstation i jämförelse med en traditionellt byggd att det blir billigare, har kortare projekttid, miljövänligare och är säkrare. Vattenfall har tagit fram en ekvation för att kunna jämföra nyttan mellan traditionellt och modulbyggda stationer, denna visar tydligt hur mycket bättre det är att använda sig av modulbyggda stationer.

För att besvara den första frågan om hur information kan hittas var hoppet att få svar från flera internationella nätägare då detta var av största intresse för Vattenfall. Tyvärr visade det sig vara svårt att komma i kontakt med andra nätägare då flera av dem inte hade kontaktvägar för ett sådant här ärende via deras respektive hemsidor. Flera försök gjordes via mejl, live-chatt på deras hemsidor, formulär m.m. Försök som dessa gjordes även till leverantörer av modulstationer, det hade lite större framgång där ett av företagen, Schneider Electric, kunde svara på alla frågor angående deras produkter. Under arbetet skickades ett enkät ut till några nätägare som är kontakter till Vattenfall, med ett fåtal frågor som sammanställdes. Företagen är anonyma i denna enkät.

Frågorna handlade om deras erfarenhet av att arbeta med modulstatioer, till exempel vilka leverantörer de använt sig av och vilka lärdomar de kan dela med sig av. Lärdomarna hade fokus på hur väl planerat specifikationerna inför ett projekt bör vara, för att minska antalet modeller och begränsa mängden leverantörer. Andra lärdomar var bland annat att ha en luftvärmepump i modulstationen då det på sommaren blir väldigt varmt på insidan. Genom enkäten kunde även information om vilka spänningar andra nätägare använder sig modulstationer på, 20 kV var det vanligaste och det var även en standardlösning för några på denna spänning.

Specifika modeller angavs inte av nätägarna i detta formulär, endast vilka leverantörer de använt sig av. Modeller av modulstationer söktes genom leverantörers hemsidor, tyvärr fanns inte mycket teknisk information på alla hemsidor men det är ett bra sätt att se vad som finns på marknaden. Andra sökvägar som via ChatGPT och organisationen Cegre har också undersökts. ChatGPT visade sig vara opålitlig för detta arbete och Cegre filerna som genomsökts hade ingen relevant information till detta arbete. Till värderingen sammanställdes informationen från de andra nätägarna då detta var det mest hjälpsamma för Vattenfall inför kommande arbeten med modulstationer.

Confidentiality: C1 - Public

Förord

Detta examensarbete har gjorts i samarbete med Vattenfall Eldistribution i Umeå under vårterminen 2023, som ett avslut på utbildningen högskoleingenjör i energiteknik på Umeå Universitet. Det har varit ett lärorikt projekt som känts särskilt intressant i dagens klimat angående energibranschen. Jag vill rikta ett stort tack till mina tre handledare Tor Johansson, Anders Johnsson och Mikael Sollén, som tagit sig tid att hjälpa mig och ge stöd under detta arbete.

Julia Ekström
Umeå Universitet, 2023

Confidentiality: C1 - Public

Innehållsförteckning

1. Inledning 1

1.1. Bakgrund 1
1.1.1. Maltekonceptet 1
1.1.2. K-Fack 2
1.1.3. Mobila ställverk 2
1.1.4. Tillverkarnas beskrivning av fördelar med modulstationer: 2
1.1.5. Vattenfalls jämförelse mellan traditionell och modulbyggd transformatorstation 3

1.2. Mål och avgränsningar 4
1.2.1. Mål 4
1.2.2. Syfte 4
1.2.3. Avgränsningar 4

1.3. Genomförande 5

1.4. Begrepp: 5
1.4.1. Skillnader på olika typer av modulstationer 5

2. Övergripande standarder, lagar och krav 6

3. Teknisk analys 7

3.1. Sökvägar 7
3.1.1. Använda sökord på Google 8
3.1.2. Kontaktförsök med nätägare: 9

4. Resultat 12

4.1. Hur kan man söka fram information om modulstationer globalt? 12

4.2. Vilka modulstationer hittas? 14
4.2.1. EHouse - ABB 14
4.2.2. Prefabricerade transformatorstationer - Schneider Electric 14
4.2.3. EHouses - Unit Electrical Engineering 16
4.2.4. TGOOD 17

4.3. Värdering av identifierade stationer: vilka är särskilt intressanta för Vattenfall Eldistribution. 18

5. Diskussion och slutsats 18

5.1. Hur kan man söka fram information om modulstationer globalt? 18

5.2. Vilka modulstationer hittas? 19

5.3. Värdering av identifierade stationer: vilka är särskilt intressanta för Vattenfall Eldistribution? 20

6. Referenser 21

Litteraturförteckning 21

Confidentiality: C1 - Public

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Efter ett första möte med Vattenfall Eldistribution framkom behovet av en global överblick avseende modulbyggda stationer på spänningsnivåerna 24-46 kV. Här avses stationens primärspänning (”uppspänningssida”) och en stationstyp man i Sverige kallar *fördelningsstation*. Stationerna ingår i regionala elnät, där Vattenfall Eldistribution har ett antal ”40 kV”, samt vissa ”20 kV” regionnät. Branschen skiljer på komponenters konstruktionsspänning (t.ex. 46 kV) och elnätens driftspänning (här +40 kV), vilket kan leda till begreppsförvirring. Fördelningsstationerna fördelar elkraft till lokala elnät, typiskt 10 kV-nät, men även 20 kV förekommer. Dessa distribuerar elkraften till kundkollektivet via s.k. nätstationer, där transformeringen till 400 V lågspänning sker. Inom Vattenfall Eldistribution finns nu ett stort intresse om andra nätägare byggt modulära stationer som kan användas för transformering från 24-46 kV regionnät till 12-24 kV lokalnät, och som uppfyller krav på det svenska elnätet.

Vattenfall har en del tidigare lösningar på hur de historiskt sett byggt modulstationer. K-fack infördes 1971 och det sentida Maltekonceptet blev ett exempel på en leverantörsspecifik modulär station. Som ett exempel innebar Maltekonceptet ett leverantörsberoende under hela stationens livslängd, då drift-rummens fysiska utformning anpassades till dennes komponenter.

Idag äger Vattenfall 957 stycken transformatorstationer i Sverige, cirka 600 med 40/20 kV. Av dessa 600 stycken är 19 stycken modulstationer, varav 16 är Maltestationer. K-fack infördes 1971 och var små plåthus som innehöll brytare. Maltekonceptet kom till senare och är modulbyggda mobila transformatorstationer av ABB [1].

1.1.1. Maltekonceptet

MALTE har flera fördelar jämfört med traditionella utomhusstationer. Dess inomhuslösning är skalskyddad som ökar tillgängligheten och ska tillföra lägre installations- och underhållskostnader. Den modulbyggda stationen är dock leverantörsberoende under stationens livstid, då drift-rummens fysiska utformning anpassades till dennes komponenter. Designen och utformningen av MALTE kan varieras för att anpassas till både stadsmiljö och landsbygd. Fördelar med skalskyddet är även en ökad personsäkerhet, samt att den reducerar ljudet från transformatorn. Förberedelser på plats består endast av en gjuten grund med oljegrop för modulen med transformatorn, hela stationen monteras och testas först i fabrik för att minska arbete på installationsplats. Maximal transformator storlek för MALTE är 18 MVA 54/10–20 kV med upp till fem inkommande/utgående fack. Denna typ av modulstation tar upp mindre plats än utomhusstationer och både anläggningstiden och kostnaderna kan minskas. MALTE passar för både regionala nätbolag och för kraftdistribution inom en industri [2].

Stationen består av tre prefabricerade moduler, en av sidomodulerna innehåller en gasisolerad brytare som är monterad på en utdragbar skena för enklare underhåll, och utrustning för transformatorn. I den andra sidomodulen sitter en brytare för utgående linjer samt reläer och stödsystem. I modulen i mitten är transformatorn placerad. Skydds- och kontrollutrustning, mätfunktioner m.m. ingår i stationen. Nya protokoll för kommunikation går att införa då kommunikationskonceptet är standardiserat. Kabelanslutningar är placerade i golven i sidomodulerna, byggnaden har belysning, värme- och ventilationssystem. Skalskyddet minskar

risken för inbrott, vandalism och att nyfikna barn kan ta sig in på anläggningen. Den förhindrar vanliga orsaker till fel och avbrott i utomhusanläggningar, som att djur skadar utrustningen. Modulerna är gjorda av stål och väggarna är klädda i stålpaneler med isolering för brandsäkerhet [2].

1.1.2. K-Fack

K-fack är en lösning som skapades under 1960-talet genom samarbetet mellan Vattenfall och leverantören KL Industri (Kronqvist och Larsson) i Finspång. Dessa var vanliga i utomhusställverk på 40-10 kV och har utvecklats genom åren. De är små plåthus som truckbrytare installerades i på utdragbara truckstativ som ansluts via kabel till anslutande ledning. För dessa används kabelströmstransformatorer. Mellan facken finns samlingsskenan som är gjord som en kabelförbindelse. Vid brytarunderhåll används en förbifrånkopplingsfrånskiljare som brytaren är försedd med. Dessa små plåthus var väldigt vanliga förr i tiden [3].

1.1.3. Mobila ställverk

Rulle:
En modern lösning på typställverk är Vattenfalls egen lösning, Rulle. Det är en mobil transformatorstation som kan användas vid haverier eller temporärt vid ombyggnad eller underhåll. Rulle har ett inkommande 45 kV fack och två utgående 20/10 kV, samt en 6,5 MVA transformator. Detta är förmonterat på en trailer som enkelt kan transporteras mellan olika platser vid behov. Det finns tre stycken i bruk, en i Notviken, Storuman och Domsjö [4].

Bamse:
Ett annat modernt typställverk är Bamse. Bamse var ett mobilt stationskoncept som utvecklats i samarbete mellan Vattenfall och Svenska Kraftnät. Ställverksdelarna är separerade i olika containrar och transformatorn är omkopplingsbar för 145-170 kV på uppsidan, den har tre lindningar där en är avsedd för 45-52 kV och en är omkopplingsbar för 12-24 kV. Det är SvK som finansierade konceptet som beredskapsåtgärd. Vattenfall Eldistribution äger Bamse som är stationerad i UT171 Moliden. Ellevio äger på motsvarande vis Vargen och E.On Skalman [4].

1.1.4. Tillverkarnas beskrivning av fördelar med modulstationer:

Mindre distribueringsstationer kan delas in i mindre moduler i storlek av en liten container. Dessa kan tillverkas, monteras och testas direkt på en fabrik för att minska arbetet på installationsplatsen. På grund av skalskyddet runt modulerna skyddas innehållet mot klimatet och ökar tillgängligheten för underhåll. Ingen inhägnad eller staket av något slag behövs vilket underlättar tillståndsansökan, samt ser stationen bättre ut estetiskt för omgivningen. Med en liten markyta, snabb installation och avinstallation är modulstationer perfekt för permanenta och tillfälliga behov av en transformatorstation [5]. TGOODs modulstationer tar upp 20 % av traditionella stationers markyta, minskar anläggningstiden med 3-6 månader. Traditionella ställverk behöver upp till 3300 m^2 för markytan och tar minst 18 månader för att konstruera. Modulstationer kan behöva så lite som 420 m^2 [6].

Siemens Energy erbjuder prefabricerade lösningar för att minska fältarbetet genom att göra det mesta av jobbet i deras fabrik. På så sätt minskas även konstruktionstiden med upp till 30% [7]. Siemens lösning på modulstationer innebär miljövänliga alternativ som transformatorer fyllda med ester och rent luftfyllda ställverk (Blue GIS-modellen) samt digitala stationsapplikationer. De kan även anpassa modulernas storlek som monteras på en trailer för att de ska passa på den

lokala transportsträckan. Basen skyddar den elektriska utrustningen under transport för att det inte ska påverkas av mekanisk stress [7]. Normalt sett är transformatorer fyllda med mineral- eller silikonolja för elektrisk isolering och kylning. Om det skulle uppstå en läcka så är detta en miljöfara och det är lättantändligt. Ester är ett miljövänligare alternativ då det är naturligt nedbrytbart och inte är lättantändligt. Transformatorn måste då ställas om för det nya medlet vilket Siemens experter lyckats göra för en kund i Kina. Transformatorer fyllda med ester är inte bara bättre för miljön än traditionella men även säkrare för människor, vilket är bra för installationer nära byggnader som kräver stor eldsäkerhet som sjukhus, flygplatser och skolor. De är även mer passande för havsbaserade vindkraftsparker som har höga krav på miljösäkerhet [8]. Esterolja är gjort på soja, solrosor och rapsolja [9]. En lastbrytare som är utrustad med en speciell vacuumbrytare är den nya mittpunkten för F-gasfria medelspänningstillämpningar i sekundära distributionsnät från 12-24 kV [10].

Eaton minskar de logistiska svårigheterna genom en turnkey lösning för modulstationer. Detta minskar kostnad då de har prefabricerade lösningar inklusive kablar och testning av hela stationsbygget [11]. Plutons lösningar för modulstationer innebär snabb tillverkning genom att göra en stor del av konstruktionen i deras fabriker för att minska arbetet på installationsplats. Detta görs även för stationer som ska kunna arbeta automatiskt. De har även lösningar för brandfara, miljösäkerhet, inbrott och sabotage. För prefabricerade stationer kan uppstart vara 10-30 dagar, beroende på hur många delar stationen har. Deras stationer har även anpassade lösningar beroende på kunden och kan förflyttas till andra platser vid behov [12].

1.1.5. Vattenfalls jämförelse mellan traditionell och modulbyggd transformatorstation

Här följer en förenklad formel för att värdera hur mycket nytta en modulbyggd transformatorstation har i jämförelse med en traditionellt byggd, detta gjorde de i samband med en större rapport som utforskade detta. För att beräkna totalnyttan för stationerna har Vattenfall framtagit ekvation (1).

$$Investeringskostnad \times \\ Resursbehov\ egen\ personal\ och\ konsulter \times \\ Projekttid\ (intern\ projekttid) \times \\ CO_2\ utsläpp \times Affärsrisk = Totalnytta \quad (1)$$

Dessa värden är för modulstationer (ju lägre desto bättre):

Investeringskostnad= 0,8

Resursbehov egen personal och konsulter= 0,6

Projekttid (intern projekttid)= 0,5-0,67

CO2 utsläpp= 0,5

Affärsrisk= 0,125

Kommentar: Underhåll/förvaltning som variabel behöver arbetas vidare med för specifika projekt och är därför inte med i ekvationen [13].

Totalnyttan för traditionell transformatorstation är 1,0. För en modulstation blir det 0,015-0,0201.

1.2. Mål och avgränsningar

I detta avsnitt kommer mål, syfte samt avgränsningar för arbetet förklaras.

1.2.1. Mål

Examensarbetets huvuduppgift är att genomföra en global kartläggning av modulbyggda stationer betraktade *ur nätägarnas perspektiv*. Distinktionen är viktig eftersom *tillverkaren* av en modulstation till viss del kan ha motstående intressen. Som ett exempel innebar Maltekonceptet ett leverantörsberoende under hela stationens livslängd, då drift-rummens fysiska utformning anpassades till dennes komponenter. Vid kartläggningen av olika modulkoncept är därför tillhörande affärsmodell och grad av leverantörsberoende väsentligt för Vattenfall Eldistribution.

Målet är främst att besvara de tre punkterna under syfte. Arbetet ska ha en lösning på hur man kan söka information om modulstationer globalt, samt exempel för åtminstone tre länder. Med detta ska det även vara beskrivet vilka modulstationer som hittats och vad dessa typer är. Slutligen ska en värdering ha utförts för de identifierade stationer utifrån om de är intressanta för Vattenfall Eldistribution.

1.2.2. Syfte

Examensarbetets syfte är att beskriva befintliga modulstationslösningar från elnätsägares perspektiv. I arbetet ingår att kartlägga modulbyggda stationer i omvärlden. I rapporten ingår uppgifter om nätägare och tillverkare, samt övergripande uppgifter om teknisk lösning och affärsupplägg. Huvudfokus läggs på stationslösningar för primärspänningar i intervall 24-46 kV. Syftet sammanfattas med tre frågor:

1. *Hur* kan man söka fram information om modulstationer globalt?
2. *Vilka* modulstationer hittas?
3. *Värdering* av identifierade stationer: vilka är särskilt intressanta för Vattenfall Eldistribution?

1.2.3. Avgränsningar

Arbetet har följande avgränsningar (jmfr. Syfte och Metod):

1. En sökmetodik behöver inte försöka vara heltäckande. Målet att kunna hitta ca 25-50 % av omvärldens modulstationer
2. Dokumentation av modulbyggda stationer:
    - Tekniska lösningar redovisas förenklat, utgående från vilken information som är lättillgänglig i de enskilda fallen (artiklar, presentationer, bilder m.m.)
    - Affärsuppläggen kan jämföras förenklat genom att placera modulstationen på en bil/ tågvagn-skala. På denna skala liknas ett helt leverantörsägt modulkoncept vid att köpa en bil. En öppen, leverantörsoberoende lösning liknas vid att köpa en tågvagn
3. Analyser och slutsatser tas fram i samråd med handledare. (Denna avgränsning anses nödvändig då uppgiften rymmer tekniska och affärsmässiga frågor som kan vara mycket komplexa)

Övriga avgränsningar: Krafttransformatorer kan ha ställts upp utom- eller inomhus, men

analyseras inte. Om *kontrollanläggning och ställverk* placerats i modulbyggnader anses stationen ändå vara en modulstation. Jämförelser baserat på utvalda tekniska och affärsmässiga aspekter ingår i analysarbetet. Jämförelser mellan tekniska lösningar och Vattenfalls tekniska riktlinjer ingår inte i uppdraget, men kan läggas till i mån av tid.

1.3. Genomförande

Arbetet har följande metodinnehåll (jmfr. Syfte):

1. Utarbeta en sökmetodik i samråd med handledare och andra sakkunniga. Internetsökningar och mailväxling antas vara viktiga verktyg. Dokumentera metoden och inkludera en lista på aspekter och krav som utgör förutsättningar för urval.
2. Dokumentera modulbyggda stationer i omvärlden. Följande data redovisas:
    - Nätägare (hemsida, kontaktuppgifter)
    - Tillverkare (hemsida)
    - Teknisk lösning (övergripande, inkl. spänningsintervall)
    - Affärsupplägg (övergripande)
3. Analysera listan med modulbyggda stationer i samråd med handledare. Beroende på vilka objekt som hittas kan dessa jämföras övergripande ur teknisk och affärsmässig synvinkel, baserat på Vattenfall Eldistributions behov. Dokumentera analys och slutsatser.

1.4. Begrepp:

Elektrisk samlingsskena: Är ett modulärt sätt att samla alla elektriska ledningar på en adapter som är monterad på en strömförande samlingsskena, i stället för att dra en enskild enhet för varje kabel. Denna lösning är vanlig i distributionscentraler och automationspaneler [14].

Turnkey: innebär tillhandahållande av en komplett produkt eller tjänst som är redo för omedelbar användning [15].

LSC2B: defineras i IEC 62271-200 som **L**oss of **S**ervice **C**ontinuity category. Mellanspänningsdelar separeras med metallväggar (PM-klass) som är anslutna till jord.

- Samlingsskenor fack
- Fack för kopplingsanordning (uttagbar del - strömbrytare, frånskiljartruck, säkringskontaktor eller jordningsbil)
- Anslutningsfack för MV-kablar (jordbrytare, spänningstransformatorer, strömsensorer)

LSC-kategorin garanterar att det finns högt personskydd. Ställverkspanelkonstruktionen är uppbyggd av metallväggar och isoleringsavstånd med fackuppdelning till samlingsskenan och till kabeln [16].

GIS: Gasisolerat ställverk
AIS: Luftisolerat

dSEK: Decentralicerad sekundärteknik [17]

1.4.1. Skillnader på olika typer av modulstationer

EHouse:
Electrical House. En prefabricerad modulär inhägnad för att husera ett ställverk på låg till medium volt, samt extra utrustning utefter kundens behov. E-House är kostnadseffektiva,

reducerar tillverkningstid och risk genom modern design. Designen kan även anpassas efter kundens önskningar, till exempel skydd för sprängningsrisk, färg som skyddar mot värme, ventilering, brandskyddsystem och sammankopplade strukturella lösningar [18].

Mobil station:
Denna lösning finns för de som behöver flexibilitet vid transport av stationen. Stationen går att flytta på vilket är en bra lösning vid till exempel naturkatastrofer då samhällen tappat sin koppling till elnätet [18].

CSS (Compact Secondary Substation):
CSS är en prefabricerad station som är designad och testad enligt IEC 62271-202 standard. Denna typ av station används vanligtvis i industri, bostadsområden och kommersiella byggnader, samt andra typer av eldistributions applikationer. Stationen kan drivas på håll. Inhägnaden är gjort på 2,3 mm tjockt stål som monteras på 6mm tjockt varmförzinkad kanalbas. Det ger tillgång till MV (Medium Volt), LV (Low Volt) och Tr (Transformator) fack genom två dubbeldörrar. Skyddsgraden för dessa är: IP 54 (MV och LV fack), IP 31 (transformator fack), IK 10 (mekanisk resistans vid påverkan). Ungefärlig vikt för utrustningen är maximalt 6 ton, beroende på kVA. På taket av stationen finns fyra lyftpunkter vid förflyttning av stationen. Stationen tål en intern ljusbåge: IAC-AB (21kA1s). Utrustningen stationen innehåller är bland annat MV ställverk, MV sammankoppling av 95mm^2 XPLE isolerade kopparkablar, transformator och olja (250-1000kVA), LV sammankoppling med kopparsamlingsskena, LV växlar, jordning och intern belysning, sedan finns även fler frivilliga tillägg [18].

2. Övergripande standarder, lagar och krav

För eldistribution finns det många lagar att följa, detta är endast ett fåtal som beskrivs för att få en överblick över vad som kan krävas av eldistributions företag. Först och främst är att ellagen och föreskrifter följs.

Elöverföringssystemet kräver snäva gränser gällande frekvensen, kraftsystemet i Norden balanseras mot en frekvens på 50 Hz. Skyddsfunktioner som reserver finns för att stabilisera frekvensen vid del, för att undvika bortkoppling av förbrukning. Ibland räcker dock inte reserverna till. Om frekvensen hamnar under 48,8 Hz aktiveras automatiskt skyddsåtgärden automatisk förbrukningsfrånkoppling (AFK). Denna åtgärd innebär att förbrukning stegvis kopplas bort beroende på frekvensavvikelsen. Detta är för att se till att kraftsystemet inte hamnar i total kollaps, på ett kontrollerat sätt [19]. Energimarknadsinspektionen (Ei) har i uppgift att se över bl.a. Svenska Kraftnät (SvK) för att se till att EU:s 70 % regel följs. Denna regel innebär att minst 70 % av överföringskapaciteten ska tilldelas till marknaden, samtidigt som driftsäkerhetsgränserna ska följas och ha i åtanke att oförutsedda händelser kan ske [20].

Elöverföringens kvalitet: Ei har krav på maximalt antal avbrott per år, trädsäkring för ledningar, spänningskvalitet och utökade funktionskrav för högre lastnivåer [21].

Trädsäkring av luftledningar: Det finns generella krav på elnätsföretag om trädsäkring för att företagen ska ha utrymme att vara kostnadseffektiva. Avbrott på grund av nedfallna träd får inte förekomma på luftledningar med spänning över 25 kV. Om ledningar med lägre spänning överför el till andra nätägares nät ska även dessa vara trädsäkrade [21].

Utökade funktionskrav för högre lastnivåer än 2 MW: Utöver ellagens krav om att avbrott inte får vara längre än 24 timmar, finns det även krav från Ei på uttags- och gränspunkter gällande lastnivåer över 2 MW [21].

Undantag för dessa krav kan förekomma [21].

3. Teknisk analys

3.1. Sökvägar

En bra start för att hitta snabb och lättsmält information om modulstationer är via leverantörernas Youtube kanaler. Vid en sökning på Youtube efter ”modular substations” och liknande ord så kommer leverantörernas kanaler direkt upp, precis som vid en Google sökning. På Youtube finns dessa videos där en överblick av hela processen visas, från beställning till produktion till leverans. Tyvärr ges inte mycket teknisk information i dessa videos, men de är en bra start för att få en inblick i vad modulstationer är.

För att hitta information om modulbyggda transformatorstationer ur ett internationellt nätägarperspektiv är en bra start genom att hitta de största internationella nätägare som använder modulstationer. Detta går att göra genom att söka på Google och då kan ett flertal listor hittas och jämföras för att se till att samma företag är listade. Detta gäller även för leverantörer, ett exempel på hur en sådan lista kan se ut för leverantörssidan är:

Lista på de mest aktiva leverantörerna gällande modulabyggda transformatorstationer:

- ABB
- Siemens
- Eaton
- Schneider Electric
- Ormazabal
- VEO Group
- Skema [22]

Under sökningen av olika modeller av modulstationer via leverantörernas hemsidor kunde slutsatsen tas att det finns flera olika typer av modulstationer. Dessa är EHouse, Mobil station och CSS. Detta är viktigt att veta och kunna urskilja på vid sökning av information om modulstationer.

ChatGPT har använts för att söka preliminär information om vilka internationella nätägare använder modulstationer, samt vilka som är de största producenterna av modulstationer. Dessa resultat forskades vidare på genom ChatGPT, genom fler frågeställningar och omformuleringar. Men det visade sig att AI:n inte ännu är nog utvecklad för att kunna användas för detta område då till exempel en modell som nämnts av den inte fanns vid en Google sökning.

Cegre är en organisation bestående av flera av världens nätägare, Vattenfall är medlem i denna organisation och efterfrågade en sökning av ett stort antal dokument med potentialen att vara intressanta för denna rapport.

Sökvägar för Cegre mapp:
Använd sökfunktionen i “Utforskaren”, sökord:

- modul, gav inget resultat
- substation, gav ett resultat, 749 Substation earthing system.pdf, inte av intresse.
- pre (prefabricerat), gav inget resultat

Detta var ett väldigt ineffektivt sätt att söka information, att öppna alla filer var och en och använda sökfunktion i texten (command/ctrl+F) är också ineffektivt.

Programvaran Adobe Acrobat Reader kan läsa av alla PDF filerna samtidigt i Cegremappen, efter inskrivning av önskat sökord söker programmet igenom alla och tar fram de dokumenten med träffar. Vid en sökning av ”modul” hittades 249 PDF-filer och 4182 träffar av ordet. Av dessa kan programmet sedan ta fram alla stycken där ordet syns, de filer som var äldre än 2015 var inte av intresse och sållades direkt bort genom avancerad sökning. Detta är på grund av att tidigare information är för föråldrad för detta projekt. Efter detta gjorts var 183 stycken kvar med 183 förekomster. Inget av intresse hittades till detta arbete.

3.1.1. Använda sökord på Google

- Modular substation article- får endast fram ett fåtal artiklar som handlar om fördelar med modulstationer. Leverantörers hemsidor kommer också upp för att sälja in sina produkter.
- Modular substation article powergrid owner- Denna sökning resulterade i en artikel om ett amerikanskt företag som blev intervjuad om deras ställverk. Men artikeln handlar inte om modulstationer. Dock kunde en mejladress hittas via företagets egna hemsida och vidare kontakt söktes för frågor om deras använvändning av modulstationer. Tyvärr svarade dem inte. Artikeln: https://www.power-grid.com/news/examining-the-nuts-and-bolts-of-substation-construction/#gref Resterande som kom upp efter sökningen handlade inte om modulstationer.
- Modular substation report-

  En marknadsundersöknings rapport finns att köpa från Market Research Future som handlar om modulstationer, denna kostar 4950 USD. Länk till rapporten: https://www.marketresearchfuture.com/amp/reports/modular-substation-market-7657 Efterfrågan ett gratis prov resulterade inte i användbar information.

  En liknande rapport från Market Data Forcast finns att köpa för 2500 USD. Länk till rapporten: https://www.marketdataforecast.com/market-reports/modular-substation-market Efterfrågan ett gratis prov resulterade inte i användbar information.

  En liknande rapport från Fortune Business Insights finns att köpa för 4850 USD. https://www.fortunebusinessinsights.com/modular-substation-market-102153 Efterfrågan ett gratis prov resulterade inte i användbar information.

  En liknande rapport från Research Reports World finns att köpa för 2500 USD. https://www.researchreportsworld.com/2022-2030-report-on-global-modular-substation-market-21141928 Efterfrågan ett gratis prov resulterade inte i användbar information.

  Liknande rapporter som går att köpa kommer upp vid denna sökning, de handlar om trender, marknadsundersökning och statistik m.m.

- Prefabricated substations buildings- endast leverantörers hemsidor kommer upp.
- Prefabricated substations- endast leverantörers hemsidor kommer upp.
- Netgridowners modular substations- endast leverantörers hemsidor kommer upp.
- Powergridowners modular substations- inget av intresse för denna rapport.

- Packaged substation in use- endast leverantörers hemsidor kommer upp.
- Modular substation in use- endast leverantörers hemsidor kommer upp.
- EHouse- endast leverantörers hemsidor kommer upp.
- Mobile substation- endast leverantörers hemsidor kommer upp.
- CSS transformer- endast leverantörers hemsidor kommer upp.

3.1.2. Kontaktförsök med nätägare:

Kontaktförsök har gjorts till nätägare via internationella nätägares hemsidor, formulär på deras hemsidor, kontakt via mejl har försökt via ett antal tjänster. Några av dessa är allmänna tjänster, kundservice, tekniska support, privat kundtjänst (har skrivit in ett postnr och adress i landet deras huvudkontor ligger i), samt till ansvarig för gjorda projekt. Även livechatt via företagens hemsida har prövats. E.On är de enda internationella som svarat via mejl, först via en svensk kontakt som sedan skickade över frågan till tyska kollegor som återkom efter några veckor. Det svenska företaget Ellevio har svarat via mejl och telefon via en intern kontakt. Med hjälp av handledarna på Vattenfall som har kontakter hos flera nätägare globalt kunde en enkät sammanställas med ett fåtal frågor för att få en överblick av deras erfarenhet med modulbyggda transformatorstationer.

Via mejlkontakt med leverantörer har frågan ställts om att få en kontaktperson till någon av deras kunder för avklarade projekt med modulstationer. Detta har inte resulterat i något svar.

Ellevio:
Ellevio använder modulstationer på spänningarna 12-36 kV. De leverantörer de använder är Holtab och Jaco, modellerna från dessa är ibland med kabelkällare och ibland byggd på plint. Specifika modellnamn var ej angivna. Vid frågan om de lärt sig något inför framtida beställningar om modulstationer som de kommer ändra i ordern svarade dem: Om vi inte har kabelkällare, tydligt kravställa kabelgenomföringar, grundläggning och sockelinramning. Ibland har förvaltning tyckt att moduler blivit för små/trånga för underhåll o.s.v. [23].

E.On:
I Tyskland använder E.On modulstationer som standardlösning för lokalstationer på MV/NV och vidare för MV när de behöver en mobil station för till exempel felsökning, containerlösningar eller temporära lösningar. E.On använder även moduler i HV (110 kV) och MV vid respektive specialist områden, modula skyddsanordningar och transformatorstations-teknologi, kompakta MV ställverk m.fl. Dessa är prefabricerade och testade på fabriken och sedan installerade i transformatorstationer. Enligt kontaktpersonen på E.On har de ”med dessa lösningar fått god erfarenhet i termer av standardisering, harmonisering och effektivitet”. Vid frågan om de kunde dela med sig några av dessa lärdomar svarade dem för deras sekundära teknologi [24].

> ”Vi lärt oss att en ökning av effektiviteten (genom standardisering och harmonisering) är möjlig om kraven och önskade målen är likartade/desamma, samt de erforderliga kvantiteterna anges i motsvarande mängd. Före standardisering / harmonisering är det absolut nödvändigt för oss att ha ett målkoncept och harmoniserade planeringsprinciper (tillgångshanteringsnivå) inom sekundär teknik (utrustning och processer) för att begränsa utbudet av alternativ och varianter till ett minimum.” – Roland Krüger, 2023

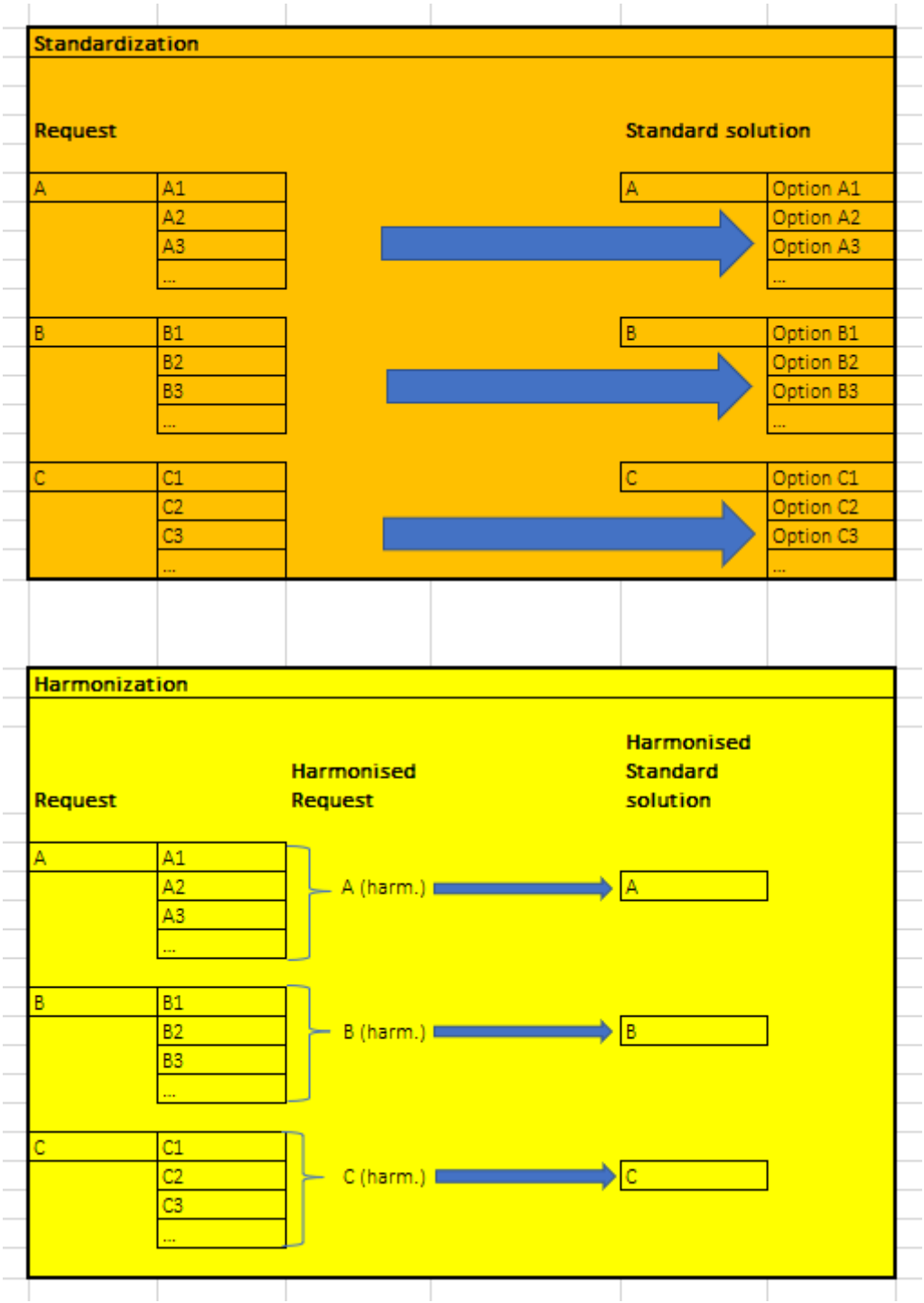
I mejlutbytet delade dem med sig av ett målkoncept från Innogy SE 2019 där det djupare beskrivs om deras önskningar för harmonisering och standardisering för modeller av modul-stationer de ska införskaffa. Denna rapport är på tyska men finns tillgänglig. Ett liknande koncept arbetar de med just nu på E.On. Några intressanta utdrag från rapporten de delade med sig av finns beskrivna i detta avsnitt[24].

Harmonisering av den centrala styrtekniken:
Inom Innogy Group används ett ZLT-system (central ledteknik) som inte jämförts med avseende på deras kravprofiler och därav uppvisar skillnader. Detta beror både på att processerna (t.ex. nätverkshanteringsprocesserna) inte var harmoniserade och att det i princip inte fanns någon standard hos tillverkarna av ZLT-system. I stället har systemen utvecklats och konfigurerats enligt specifika kundkrav. När det gäller nätförvaltningsprocesserna har ett steg mot harmonisering skett. Med ramdirektivet om nätförvaltning har en gemensam grund skapats på vilken harmoniseringen av användarfunktionerna för central kontrollteknik främjas på ett målinriktat sätt [17].

Harmoniserad kravprofil:
Det finns två grundläggande krav som motsvarar målen för E.Ons projekt ”Harmonisering av användarfunktioner i det centrala styrsystemet”, dessa är harmoniserad teknisk standard och harmoniserade specifikationer [17].

Harmoniserad teknisk standard (specifikationer): E.On tycker att en gemensam teknisk standard i form av en detaljerad kravprofil bör vara tillverkarneutral. Detta baseras dock på de grundläggande kraven som sammanställts i dokumentet för målkoncept från Innogy SE 2019, samt specifikationerna som används för systemet då rapporten skrevs. Tanken med den tekniska standarden är att den ska utvecklas utan någon konkret projektreferens, detta på grund av tidsresursprojekt kontra standardisteringsaktivitet [17].

Harmoniserade specifikationer: I ett specifikationsblad beskriver de potentiella leverantörerna i detalj hur kraven i den tekniska standarden implementeras. För att säkerställa att dessa krav implementeras krävs ett intensivt stöd/samarbete med kunden. För detta kan tidigare utvecklade specifikationer för genomförda projekt användas. I jämförelse med den tekniska standarden ökas detaljnivån, ansträngningen och omfattningen ytterligare i ett harmoniserat specifikationsblad (E.On kallar detta Innogy master system). Utarbetningen av dessa specifikationer rekommenderas att göras i samband med ett specifikt projekt [17]. Ett exempel på hur detta kan se ut ses i figur 1.



Figur 1: Exempel på standardisering och harmonisering i ett målkoncept [24]

Krav på redundans:
Redundans inom decentraliserad sekundär teknik avser förekomsten av funktionellt likvärdiga eller reducerade funktionsmoduler för att i händelse av fel på en komponent, kunna upprätthålla den övergripande funktion som görs tillgänglig för nätförvaltning och nätdrift. I princip kan redundanskrav beskrivas i följande struktur:

- Redundans mellan ekvivalenta funktioner.
- Redundans mellan fullfjädrad huvudfunktion och reducerad utbytesfunktion.

Redundansen kan utformas som logisk redundans (redundanta funktioner finns i en fysisk enhet, t.ex. huvudskydd och reservskydd) eller som fysisk redundans (funktioner finns i

separata fysiska enheter). För definitionen av fysisk redundans måste den enhet som ska beaktas också specificeras (t.ex. enhetsnivå, överbyggnadsnivå, rumsnivå, byggnadsnivå). Enheten är resultatet av den förväntade funktionssäkerheten [17].

Tillgänglighet:
För komponenterna i delsystemet decentraliserad sekundärteknik krävs olika nivåer av tillgänglighet. För dSEK måste följande reducerade krav beaktas med avseende på de enskilda funktionerna inom en station/anläggning i förhållande till respektive stationstyp:

- Maximal enkel dysfunktion: Är avsedd att beskriva det maximalt tillåtna felet/ felet för en enskild funktion som: fältstyrenhetsfel (fält), feltransformatorgradering etc.
- Maximal stilleståndstid för den enskilda funktionen: Med detta menas den maximala stilleståndstiden i ett stycke (reaktions- och felfrigångstid) där respektive enskild funktion inte är tillgänglig för fjärrkontroll och övervakning [17].

4. Resultat

4.1. Hur kan man söka fram information om modulstationer globalt?

Information om modulstationer kommer främst från leverantörerna. Det är dem som syns på internet och är bäst på att marknadsföra sina produkter. Dock har flera leverantörer valt att inte lägga ut stora mängder teknisk information om sina produkter på sina hemsidor, därför måste kontakt tas med dem. Ett antagande som kan göras genom denna undersökning är att det är svårt att få kontakt med flera av leverantörerna då det är en student som kontaktar dem. Detta antas då de flesta leverantörer som kontaktats genom detta arbete har valt att inte svara eller svarat och frågat efter företaget som söker information inför kommande projekt. De som har återkommit har dock varit hjälpsamma och skickat över PDF-filer med information om deras modeller om de inte själva enkelt kan svara på frågan. Med detta sagt så är det absolut leverantörers hemsidor som haft mest information tillgänglig angående modulstationer.

Hemsidan Youtube är också en bra källa för enklare information om modulbyggda transformatorstationer. Det är leverantörerna som gjort videos, både animerade och live-action om deras modeller de säljer. Detta är bra för att få en överblick över hur modulstationer fungerar och är uppbyggda (på ett enkelt sätt). Leverantörernas marknadsföring i dessa videos är självklar, men de förklarar hur hela processen ser ut från inköp, till produktion, till leverans vilket är bra för någon som inte arbetat med ämnet tidigare.

För nätägarnas perspektiv har det varit svårare att få en uppfattning då endast två har återkommit via mejl. Många av de internationella företagen har inte lättillgängliga kontaktvägar för personer som har allmänna frågor till dem. Flera av dem låter endast kunder ta kontakt med dem för att få hjälp med deras tjänster. Det finns flera hemsidor som listar dessa stora nätägare världen över som är de största användarna av modula transformatorstationer, men dessa hemsidor har tyvärr ingen information på vilka modeller som dessa nätägare använder.

En annan väg för att söka information om modeller av modulbyggda transformatorstationer är genom att köpa rapporter, eller dela av rapporter som gjort en större undersökning om hur trenderna ser ut, statistik, vilka modeller som finns på marknaden m.m. Tyvärr har inte budgeten funnits för denna rapport att köpa delar av dessa, samt att de inte ger ut gratis prover som innehåller fakta eller statistik.

Genom ChatGPT hittades de fem vanligaste modulstationerna i världen. Dessa är EHouse från ABB, Siemens Mobile Substations, Schneider Electric's Prefabricated Substations, GE's Skid-Mounted Substations och CG Power's Unitized Substations. Vid ett flertal frågor om dessa modeller kunde mycket information framställas på mycket kort tid. Men vid noggrannare ställda frågor då AI:n även skulle ange källor till informationen blev slutsatsen att den inte är pålitlig ännu. Källorna som angavs fanns inte, en av modellerna den angivit var enligt den gjord av tre olika leverantörer. Vid en sökning på Google av denna modell hittades ingen modell. Datumen AI:n angivit till källorna var dessutom fel då det inte stämde med den dagens datum. Exempel på hur detta såg ut:

-What is todays date?

ChatGPT: Today's date is October 3, 2023.

Dagens datum är 02-05-2023 [25].

Genom ett frågeformulär som skickades ut till några internationella nätägare, samt två svenska, kunde viktig information sammanställas angående deras erfarenheter av att arbeta med modulstationer [26].

De största fördelarna som företagen ansåg vara med modulstationer är: kortare tid på installationsplatsen eftersom stationerna levereras nästan helt klara och är testade på fabrik, reducerat kontraktspris, mindre underhållskostnad, bättre för miljön än traditionellt byggda stationer. Kontraktspriset minskar då det är billigare att arbeta i fabrik än på plats där hotell, resa och mat måste ingå. Kvaliteten är även högre för modulstationer och det är bättre arbetsförhållanden för arbetarna att arbeta i en fabrik. En annan fördel med modulstationer ansågs vara att det innebär bättre tid för planering då nätägare kan köpa upp ett lager av moduler, som sedan kan användas när tillstånd är godkänt och arbetet snabbt kommer i gång [26].

Spänningarna som företagen använder modulstationer på är 10 till 50 kV, en använder det även på 110 kV, men 20 kV var den vanligaste. Spänningarna som hade modulstationer som standardlösning varierade lite beroende på platsen, 20 kV var där de används mest och är för ett företag standardlösningen numera på 30/20/10 kV. För andra företag var det standarden för spänningarna 15-20 kV på lantliga områden, och för ett företag var det standarden när de byter ut gamla stationer, oavsett vart de var placerade [26].

Lärdomar som företagen kunde dela med sig av gällande deras arbete med modulbyggda transformatorstationer är att se till att det finns luftvärmepump i byggnaden på de byggnader som har tunna väggar, eftersom det kan bli extremt varmt inuti på sommaren. Det är även viktigt att välja en bra och funktionell design, med bra och komplett teknik. Vid beställning måste även beställaren ha trafik, typer av lastbilar, kranbilar, installationsplats, batterier, kommunikation, skydd och testning i åtanke. Ett tips ett företag gav var att ha ett pilotprojekt och arbeta med en hjälpsam partner. Kontakten på E.On i Tyskland hade lärdomen att ha ett färdigställt målkoncept för att kunna börja harmonisera planeringsprinciper (tillgångshanteringsnivå) inom sekundär teknik (utrustning och processer). Efter målkonceptet är sammanställt kan de då begränsa utbudet av alternativ och minimera antalet varianter [26].

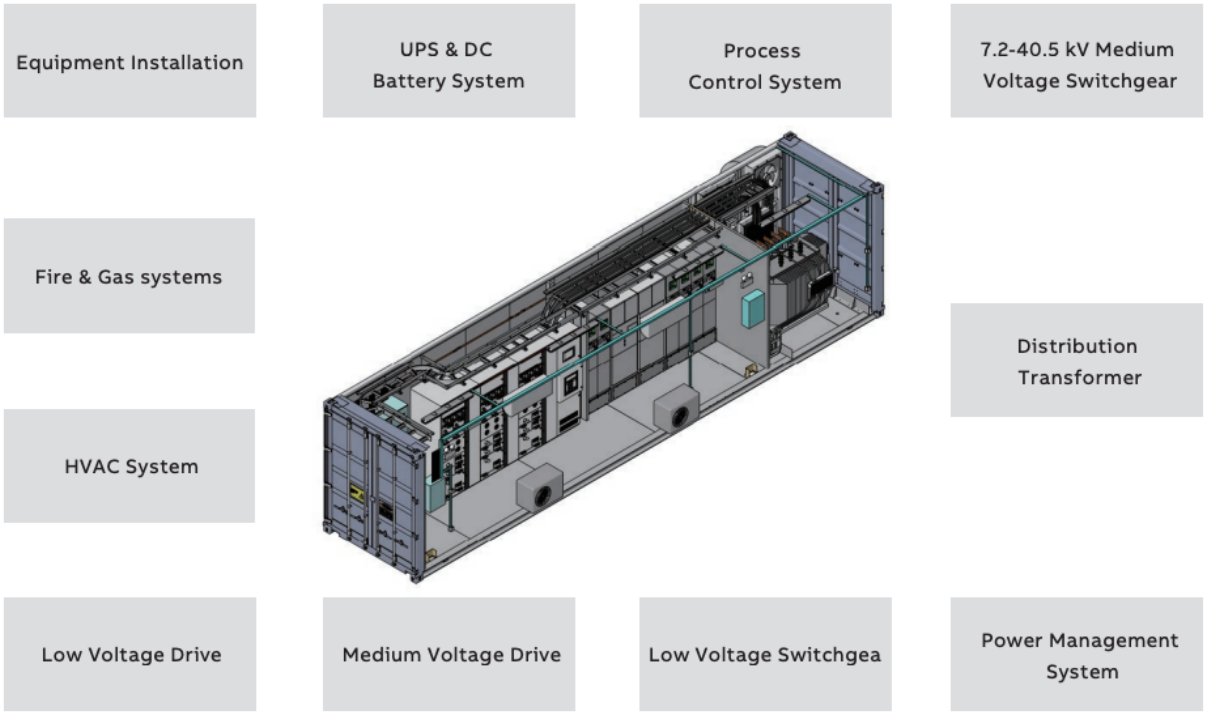
Leverantörer som nätägarna använt sig av till modulstationer är Holtab, Harju Elekter, VEO Group (men endast för en station), ISOWAT, SARPEL, Siemens, Ormazabal, Sprecher, Phoenic Contact [26]. Modellen NX-PLUS från Siemens var den enda som angavs, detta är en modell på ett ställverk, inte en hel transformatorstation [27].

4.2. Vilka modulstationer hittas?

För att avgränsa mängden modeller som hittats via leverantörers hemsidor har endast ett fåtal valts ut. EHouse från ABB som hittades via ChatGPT, PremSet från Schneider Electric som rekommenderades via kontakt med en representant från leverantören, EHouse från UEE efter en egen sökning och TGOODs modell efter ett internt samtal på Vattenfall.

4.2.1. EHouse - ABB

EHouse från ABB är en prefabricerad modulstation som kan anpassas efter kundens behov. Dess design gör att den enkelt kan transporteras och installeras snabbt, för att minska den totala projekttiden. EHouse har funktioner för automation, kontroll och kommunikationssystem, vilket gör den ett bra val för flera tillämpningar. Denna modell är bra för eldistribution, förnybara energiprojekt och datacenter. Tack vare den flexibla designen på EHouse så kan stationen expanderas och omkonfigureras efter behov [28]. Det finns flera olika modeller av ABBs EHouse, containerstor eHouse, EcoFlex eHouse, FC (Fiber Clement) eHouse och lastpallsmoduler. Det går även att välja specifika lösningar som HVAC system eller delad lösning, batterisystem, brandsäkerhetsystem, SF6 gas detektion och ventilationssystem m.m. En planlösning på hur denna station kan se ut kan ses i figur 2.



Figur 2: Planlösning över ABBs EHouse [29]

4.2.2. Prefabricerade transformatorstationer - Schneider Electric

Schneider Electric erbjuder flera olika modeller av prefabricerade stationer, av dessa är Okken, Prisma och PremSet deras vanligaste modulstationer. Alla tre är designade för en enkel installation och de kan anpassas efter kundens behov. De har avancerade funktioner för automation, kontroll och kommunikationssystem. Okken är en lågspänningscentral, som kan

användas för eldistribution och motorstyrningsapplikationer. För en mer kompakt och modulär station har de modellen Prisma som kan användas för eldistribution och byggnadsautomation. PremSet är deras modell för mediumspänningscentral som är designad för enkel installation och underhåll, vilket minskar den totala kostnaden över dess livcykel.

Skillnaden mellan Okken, Prisma och PremSet:
De tre modellerna är alla modulstationer, men som har olika avancerade funktioner och applikationer. Okken är designad för lågspänning och har en uttagbar funktion som gör det enklare för underhåll och modifiering. Den har avancerade tekniska funktioner som människa-maskin-gränssnitt (HMI) för enkel kontroll och övervakning, samt ett smart energihanteringssystem för att optimera energiförbruktningen. Modellen har även ett avancerat isoleringssystem för att skydda mot kortslutningar och överbelastningar [30].

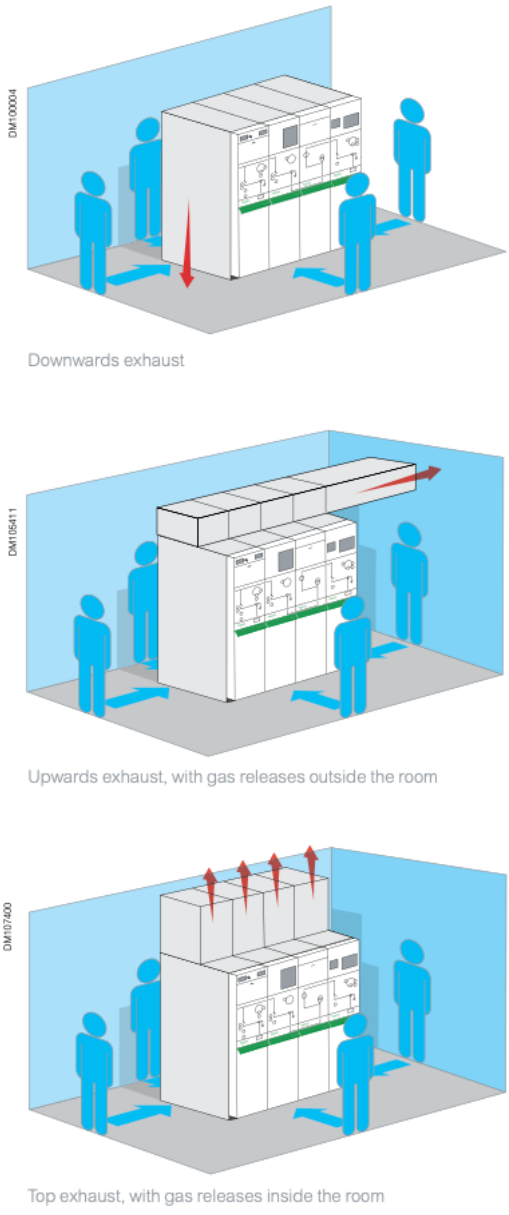
Prisma är gjord för mediumspänning och är utrustad med avancerade funktioner som ett smart skyddssystem för tillförlitlig och säker drift. Modellen har även ett avancerat samlingsskenesystem för enklare installation och underhåll. Tack vare den ergonomiska designen för Prisma har en enkel åtkomst till olika komponenter skapats, samt går det att anpassa mycket efter kundens behov och önskemål [31].

För högspänning och mediumspänning har Schneider Electric tagit fram PremSet modellen. Denna blev rekommenderad för detta arbete av en representant på företaget. Den har avancerade funktioner som en vakuumbrytare för att skydda mot kortslutning och överbelastning. Avancerade övervaknings- och kontrollsystem gör det möjligt för fjärrstyrning och övervakning av transformatorstationen. Modellen är modulär och möjliggör för enkel installation och underhåll, samt att den är kompakt och energieffektiv [32]

Schneider Electric har tagit fram serien Set, i denna serie finns det fem modeller; PremSet, ComPact, MasterPact, TransferPact och FuPact. Av dessa fem rekommenderade Schneider Electric PremSet modellen för just 24-46 kV. PremSet har ett 3-i-1 system som visat sig vara pålitligt för kunder. Hela ställverksaggregatet är skyddat i PremSet modellen och är den första globala produkten från Schneider Electric som erbjuder skärmad solid isolering. Detta förlänger utrustningens livslängd och minskar den totala ägandekostnaden. För att minska risken för intern ljusbåge och göra systemet “av misstag vidrörbart” har modellen designats utan exponerade spänningsförande delar och varje del av huvudkretsen är isolerad av en jordad skärm. Systemet kan tillämpas för nätverksfunktioner som lastbrytare eller strömbrytare, integrerade mätenheter och spänningstransformatorer. Det är enkelt för kunden att anpassa ställverket då hela sortimentet använder samma design. För att minska installationstiden har modellen standardiserade dimensioner, minskat fotavtryck jämfört med tidigare modeller och strömanslutningar framtill. Modellen är utformad med avsikt för att göra installation och anpassningar så smidigt som möjligt, detta genom enkel montering tack vare identiska samlingsskenor och kabelanslutningar för alla delar i sortimentet. Sortimentet använder patenterad universell platt strömanslutning för att underlätta under installation. Modellen har en enklare kabeldragning än tidigare modeller tack vare att alla kabelanslutningar är på samma höjd, 700 mm. PremSet har även ett 3-i-1 system för dess kärnenheter, detta innebär att alla nödvändiga funktioner (brytning, frånkoppling och jordning) alla finns i samma enhet. Alla kärnenheter har samma mått och markareal, nämligen 375 mm bredd [33].

Schneider Electric hjälper kunden genom hela processen av inköp, installation och underhåll. Under projekttiden ser de till att kunden har information för att förbättra prestandan och optimera underhåll och investeringar. De erbjuder även en tjänst för att arbeta i förebyggande

syfte för underhåll. Underhåll erbjuds via deras på-platstjänst och de kan även tillgodose med reservdelar som ingår i en optimerad underhållsbudget för just reservdelar. De erbjuder även kunden teknisk träning för användning av modulstationen. Green Premium är en av deras tjänster för att kunder ska kunna välja transformatorstation med omtanke för miljön [33]. En av valmöjligheterna för PremSet modellen är hur uttömning av gas ska vara riktad, se figur 3.



Figur 3: Illustration över alternativ för ventilation i modulstationen [33]

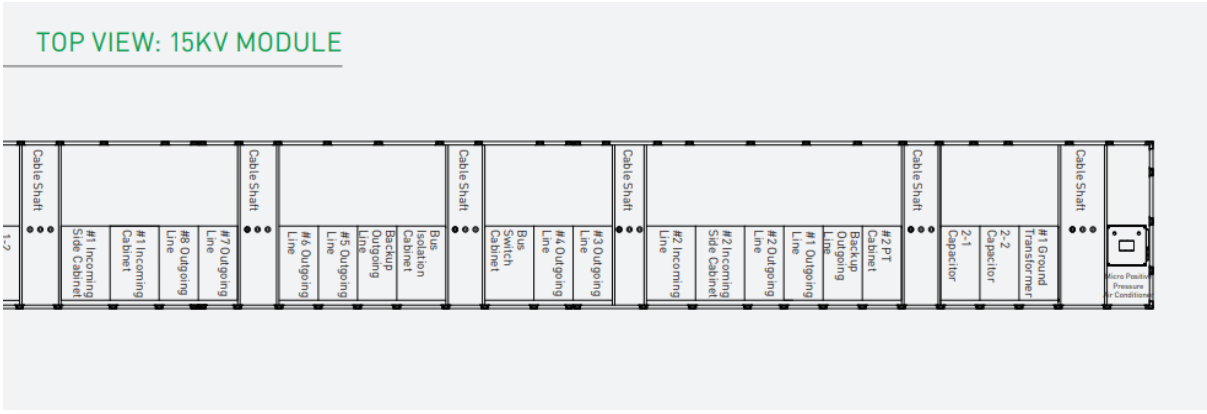
Vattenfall använder sig av uppåtriktad uttömning av gas som sedan leds ut via en ventil i väggen. Detta är för att öka säkerheten vid felande fack.

4.2.3. EHouses - Unit Electrical Engineering

UEEs modulsystem är till för att bygga flyttbara stålbyggnader till transformatorstationer. Dessa modeller har potentialen för oändligt många konfigurationer och möjlighet för framtida expandering, vilket är bra för att anpassas för flera olika projekt. Dessa konfigurationer lämpar sig för bland annat eldistribution, mobila transformatorstationer, walk-in-switchhus, el och processkontrollrum, fältreparationsstationer m.m. Modulstationerna kan designas för både fristående byggnad och som pall- eller trailermonterad för enklare förflyttning för mobila stationer. Modellerna är gjorda för att vara vädertåliga i flera olika klimat och har ventilation, värme och luftkonditionering. Alla komponenter monteras innan leverans för att minska projekttiden och kostnader vid installation [34]. Dessa modeller klarar av tung snö och minusgrader vilket gör dem lämpliga för Sveriges klimat [35].

4.2.4. TGOOD

TGOOD erbjuder endast en modell av modulstation. Denna kan anpassas för så högt som 145 kV som är ett GIS ställverk, 36 kV finns också för GIS men 15 kV finns för AIS. Denna modell tar endast 26 veckor att leverera och kan ta upp så lite som 420 m^2, vilket är ca 20 % mindre än traditionella modeller. För att anpassa stationen för områden nära bostadsområden har akustisk och elektromagnetisk skärmning lagts till för att minska ljudförorening och strålning, ljudet hamnar på under 40 dB. Då stationen är inbyggd i en E-House kapsling skyddas den för vandalism och utsidan kan anpassas i färgval för att matcha in bättre med omgivningen. TGOODs modell är för det mesta underhållsfri och kan fjärrstyras. Tack vare TGOODs avancerade konstruktionsmetoder kan deras station vara i bruk i upp till 60 år. Modellen har flera säkerhetsåtgärder som belysning, brandskydd, skyddade kablar, blixtnedslagsskydd, m.m. För 15 kV modellen finns det underhållsfri vakuumkretsbrytare tillgängligt. Det finns både standard- och konfigurerbara prefabricerade versioner. Dessa byggs i moduler för snabb montering vilket hjälper att dra ner på leveranstiden i jämförelse med traditionella modeller. För att garantera högsta nivå på personalsäkerhet används en tyskkonstruerad bågbeständig ställverksdesign. Dessa bågbeständiga ställverksluckor innehåller mekaniska förseglingar. För en mer kompakt och transportabel modell används integrerade ställverksskåp. Planlösningen är gjord för att allt ska vara monterad på en rad för att förenkla åtkomst vid underhåll, se figur 4 [36].



Figur 4: Planlösning av TGOODs modulstation [37]

För att avvisa damm används ett miljökontrollsystem med övertryck för att säkerställa att det interna kabintrycket är större än det yttre atmosfärstrycket, vanligtvis med 105 %. Tekniken har testats i världens tuffaste driftsmiljöer, däribland världens högsta järnväg i Tibet [36].

4.3. Värdering av identifierade stationer: vilka är särskilt intressanta för Vattenfall Eldistribution.

Till detta arbete fanns förhoppningen att fler internationella nätägare skulle gå att komma i kontakt med, genom dem skulle modeller av modulstationer identifieras för att ta reda på vilka som de använder sig av. Men när detta inte har varit möjligt utan endast leverantörer av modulstationer har identifierats med hjälp av andra nätägare görs denna värdering utifrån dessa företag, nätägarnas lärdomar av arbete med modulstationer, samt ekvationen Vattenfall tagit fram för att jämföra traditionella och modulbyggda transformatorstationer.

Resultatet av detta är att se till att modellen av modulstation som Vattenfall i framtiden använder sig av ska vara prövad för alla lärdomar från de andra nätägarna. Ekvationen Vattenfall framtagit, ekvation (1), visar direkt att en modulstation är helt klart det bättre valet gällande traditionellt byggd i jämförelse med modulbyggd station. Dock är ekvation (1) en förenklad modell av den Vattenfall använder vanligtvis, och siffrorna som använts till detta arbete är gjorda på antaganden. Det Vattenfall borde tänka på inför inköp av modulstationer är först och främst vilken spänning stationen ska användas på. Andra nätägare använde sina modulstationer på en stor räckvidd av spänningar, men vanligast var 20 kV. Sedan bör ett komplett målkoncept för projektet vara klart innan beställning av station görs, för att kunna sålla bort icke intressanta modeller och leverantörer redan i första stadiet. Med hjälp av ett komplett målkoncept kan planeringsprinciper harmoniseras (standardiseras) så att utbudet av modeller begränsas. En annan bra lärdom att ha med i framtida projekt var att välja en hjälpsam partner för ett pilotprojekt för att utarbeta eventuella svårigheter. Under beställningen finns det mycket att ha i åtanke; trafik, typer av lastbilar för transport, kranbilar, installationsplats, batterier, kommunikation, skydd och testning är några av dem. Designen av stationen är också viktigt, något som ansetts vara hjälpsamt är att ha modulerna uppradade så att en rak korridor bildas inuti byggnaden för enklare åtkomst vid underhåll, fack på utsidan för detta är också rekommenderat. Alla stationer bör vara utrustade med en luftvärmepump eller annat ventilationssystem så att det inte blir för varmt på insidan av byggnaden vid varmare väder.

5. Diskussion och slutsats

5.1. *Hur* kan man söka fram information om modulstationer globalt?

För att få kontakt med nätägare bör man ha ett tidigare etablerat kontaktnät, alternativt ha tur att någon tar sig tid att hjälpa en student. Flera av dessa företag har inte en väg att gå för privatpersoner eller företag som endast har allmänna frågor till dem. Något som skulle kunna bli ett framtida arbete inom detta skulle vara att utveckla en databas för nätägare att kunna kontakta varandra för att diskutera diverse. En databas där företagen kan söka upp en person inom området de söker hjälp med och enkelt kan ta kontakt via.

Med hjälp av handledarna på Vattenfall som hade en del kontakter hos andra nätägare kunde ett formulär skickas ut via mejl med ett fåtal frågor som gav bra insikt till deras erfarenhet av att arbeta med modulstationer. Detta gav bra information om vad som är viktigt att tänka på inför en beställning av modulstationer.

Leverantörers egna hemsidor är det som den mesta informationen för detta arbete använt, samt mejlkontakt med representanter från dessa företag. Då dessa företag har mer att vinna på att hjälpa med frågor om deras produkter så är de mer villiga att lägga ner tid på att svara på frågor. Dock har det varit svårt att få kontakt med flera av leverantörerna också, särskilt från internationella perspektiv. Flera av de som har svarat har skickat över frågorna till en svensk

representant som i sin tur har försökt hjälpa så gott de kan. Flera av leverantörerna har inte teknisk information om deras produkter tillgängligt på deras hemsidor, detta kan den sökande ta kontakt med dem för att få tillgång till, dock har jag inte fått ett användbart svar genom denna väg på dessa veckor. Detta kan bero på att jag är en student som ber om information till mitt examensarbete och inte ett företag som söker information till ett kommande projekt. Detta antagande har jag gjort efter att två olika företag bett om mer specifikationer angående "mitt kommande projekt" och sedan inte svarat när jag förklarat att det är för marknadsundersökning. Men de kontakter jag fått som har hjälpt med frågor på leverantörssidan har hjälpt till att hitta information och svarat på mina frågor, förutom frågan om en kontaktperson på kundsidan av något av deras avklarade projekt med modulstationer.

För framtida försök med leverantörer tror jag att det hade varit bra att ha ett typexempel på en transformatorstation som har alla nödvändiga specifikationer för ett sådant projekt. Detta skulle göra jobbet enklare för leverantörerna att ge exempel på och att de även ser att det kan finnas potential till att det leder till en affär så att de får en morot att arbeta mot. Vid frågor som prisexempel, tyngd, markareal m.m. svarade de att de behövde mer information för att svara på sådana frågor. Denna information hade varit väldigt värdefull att ha vid en jämförelse av olika modeller och företag.

ChatGPT rekommenderas inte i den version som är tillgänglig under denna rapport för att söka information om modulstationer men informationen måste dubbelkollas själv. Detta är på grund av att den inte kan ange riktiga källor eller ens ange rätt datum. Men det är en bra start för att få fram vilka företag som arbetar med modulstationer. Vid osäkerhet vart man kan börja med ett projekt tror jag att det kan vara en bra tillgång men inte för att ta fram mer avancerad information.

5.2. *Vilka* modulstationer hittas?

Flera modeller av modusltationer har hittats under projektets gång. De som beskrivits i arbetet är de som varit av största intresse på grund av hur de hittats, leverantörens storlek på marknaden gällande modulstationer, samt de som har haft mest information tillgänglig.

PremSet modellen från Schneider Electric är en av dessa. Denna modell blev rekommenderad av en representant för SE efter att jag beskrivit att sökandet är för en modell som passar 24-46 kV och ska fungera i Sveriges klimat. Denna modell är den enda som jag fått extra teknisk information om från leverantören och har därför blivit den som anses bäst just i detta arbete då de andra leverantörerna inte återkom via mejl angående frågor om deras produkter.

Genom formuläret med frågor som skickades till olika nätägare kunde en lista av deras mest använda leverantörer av modulstationer sammanställas. Genom lärdomarna från dessa nätägare och tips om harmonisering, planering och design kan rätt modeller tas fram med dessa leverantörer utifrån specifikationer från olika framtida projekt. Dessa leverantörer är Holtab, Harju Elekter, VEO Group (men bara för en station), ISOWAT, SARPEL, Siemens, Ormazabal, Sprecher och Phoenic Contact. VEO Group kan genast ställas längst bak i ledet på prioritet av leverantörer då de inte svarat på frågeställningar om fler projekt från annan svensk nätägare. Från denna nätägare fick jag även reda på att VEO Group inte var konkurrenskraftiga jämfört med de andra leverantörerna. Vid jämförelse av denna lista sammanställd från andra nätägare och listor jag själv hittat vid sökningar av modulstationer är det Harju Elekter, Siemens och Ormazabal som synts mest med hjälp av deras marknadsföring. Schneider Electric var inte med bland de andra nätägarnas svar.

5.3. *Värdering* av identifierade stationer: vilka är särskilt intressanta för Vattenfall Eldistribution?

PremSet modellen från Schneider Electric är den enda som jag fått extra teknisk information om från leverantören och har därför blivit den som anses bäst just i detta arbete då de andra leverantörerna inte besvarade mina frågor. Dock var inte Schneider Electric med bland svaren från formuläret som skickats ut till andra nätägare, orsak till detta vet jag inte.

Det som är viktigt för Vattenfall att tänka på till framtida beställningar av modulstationer är att ha ett komplett målkoncept för projektet vara klart innan beställning av station görs, för att begränsa typer av modeller. Det är även bra att genomföra ett pilotprojekt med hjälp av en hjälpsam partner för att minska problemen för framtida projekt. Det är mycket att ha i åtanke vid beställningen, några av dessa saker som andra nätägare tipsat om är trafik, typer av lastbilar för transport, kranbilar, installationsplats, batterier, kommunikation, skydd och testning. Designen är en annan viktig aspekt vid beställningen. Det är viktigt att se till att stationen har en smart planlösning för att enklare kunna hantera underhåll av stationen, en lösning på detta var att sätta modulerna på rad så att en rak korridor bildas, samt utdragbara fack från utsidan för snabb tillgång vid underhåll. Ett problem som en svensk nätägare hade märkt var att många modulstationer har tunna väggar vilket leder till att det blir väldigt varmt på insidan av stationen på sommaren, för att motverka detta bör en värmepump eller ett annat ventilationssystem finnas i byggnaden.

6. Referenser

Litteraturförteckning

[1] M. Sollén, Interviewee, *Technical Area Manager Power Transformers.* [Intervju]. 24 Mars 2023.

[2] ABB, ”library.e.abb.com,” Juni 2009. [Online]. Available: https://library.e.abb.com/public/5e19f02334814ebd9f118ff15f78c115/ABB_Malte_sv_LR.pdf?x-sign=EU0rywgfERhFzswkRRQ39D6FYeW8H2JQH5uHhM1c2c1WvV2BnajrJFoBQZXeW96B . [Använd 21 Mars 2023].

[3] A. Bergström, ”docs.google.com,” 20 Oktober 2010. [Online]. Available: https://docs.google.com/document/d/163HhVEYA7E0DcO6ja_XZszV9InrFXFT0eYN_R-2jd-E/edit . [Använd 22 Mars 2023].

[4] Vattenfall, ”Moderna Typställverk,” Vattenfall.

[5] Hitachi Energy, ”Hitachienergy.com,” [Online]. Available: https://www.hitachienergy.com/products-and-solutions/substations/containerized-and-prefabricated-substations . [Använd 21 Mars 2023].

[6] TGOOD, ”tgood.com,” [Online]. Available: http://tgood.com/eu/en/our-offer/modular-substation . [Använd 22 Mars 2023].

[7] Siemens Energy, ”siemens-energy.com,” [Online]. Available: https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-transmission/portfolio/substations/prefabricated-power-solutions.html . [Använd 22 Mars 2023].

[8] Siemens Energy b, ”Siemens-Energy.com,” [Online]. Available: https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/references/ester-filled-transformer.html. [Använd 22 Mars 2023].

[9] S. K. G. A. S. Manish Srivastava, ”Sciencedirect.com,” 2021. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321000894. [Använd 22 Mars 2023].

[10] Siemens, ”Press.Siemens.com,” 03 November 2020. [Online]. Available: https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-innovative-switching-principle-paves-way-sustainable-f-gas-free-power . [Använd 22 Mars 2023].

[11] Eaton, ”eaton.com,” 2016. [Online]. Available: https://www.eaton.com/content/dam/eaton/markets/utility/knowledge-center/white-papers/Advantages-of-modular-unit-substations.pdf . [Använd 22 Mars 2023].

[12] Pluton, ”pluton-polska.pl,” [Online]. Available: https://pluton-polska.pl/solutions/modular-substations . [Använd 21 Mars 2023].

[13] T. Johansson och H. Pettersson, ”Utvärdering av modulbyggda stationer 24-46xx kV (Version 1),” Vattenfall, 2022.

[14] Wikipedia, ”Wikipedia.com,” [Online]. Available: Electrical busbar system - Wikipedia. [Använd 5 Maj 2023].

[15] C. Horton, ”TheBalance.com,” 20 Juni 2022. [Online]. Available: https://www.thebalancemoney.com/what-is-a-turnkey-solution-5221673. [Använd 19 April 2023].

[16] Schneider Electric UK, ”se.com,” 26 Augusti 2022. [Online]. Available: https://www.se.com/uk/en/faqs/FA35365/ . [Använd 5 Maj 2023].

[17] Innogy Group, ”Sekundärteknik Fas 2: - Målkoncept,” 2019.

[18] LS Electric, ”ls.electric.com,” [Online]. Available: https://www.ls-electric.com/products/category/Smart_Power_Solution/Modular_Substation/E-House. [Använd 23 Mars 2023].

[19] Svenska Kraftnät, ”svk.se,” 08 December 2022. [Online]. Available: https://www.svk.se/om-kraftsystemet/oversikt-av-kraftsystemet/sveriges-elnat/ . [Använd 22 Mars 2023].

[20] M. Thorstensson, ”energiforetagen.se,” 23 November 2021. [Online]. Available: https://www.energiforetagen.se/pressrum/debattartiklar/2021/svenska-kraftnat-lever-inte-upp-till-elmarknadskrav/ . [Använd 22 Mars 2023].

[21] Energimarknadsinspektionen, ”ei.se,” 7 Mars 2021. [Online]. Available: https://ei.se/bransch/leveranssakerhet-i-sveriges-elnat/eloverforingens-kvalitet. [Använd 22 Mars 2023].

[22] MarketWatch, ”Marketwatch.com,” 13 Mars 2023. [Online]. Available: https://www.marketwatch.com/press-release/new-insight-report-on-modular-substation-market-2023-2030---industry-is-booming-worldwide-at-a-remarkable-growth-in-future-2023-03-13 . [Använd 5 Maj 2023].

[23] M. Holmqvist, Interviewee, *Nätplanerare regionnät Stockholm.* [Intervju]. 8 Maj 2023.

[24] R. Krüger, Interviewee, *Specialistchef och nyckeltalare för Energy Networks Technology & Innovation på E.ON SE.* [Intervju]. 11 Maj 2023.

[25] ChatGPT, ”Chat.Openai.com,” [Online]. Available: https://chat.openai.com/auth/login. [Använd 2 Maj 2023].

[26] Vattenfall, *Intern Kommunikation med nätägare,* Umeå, 2023.

[27] Siemens, ”Siemens.com,” [Online]. Available: https://www.siemens.com/global/en/products/energy/medium-voltage/systems/nxplus.html. [Använd 15 Maj 2023].

[28] ABB, ”New.Abb.com,” [Online]. Available: https://new.abb.com/medium-voltage/packaging-and-solutions/electrical-houses. [Använd 2 Maj 2023].

[29] ABB, ”ABB Modular Systems Solution Electrical Houses (eHouse),” 2022.

[30] Schneider Electric, ”Se.com,” [Online]. Available: https://www.se.com/ww/en/product-range/1478-okken/#overview. [Använd 2 Maj 2023].

[31] Schneider Electric, ”Se.com,” [Online]. Available: https://www.se.com/ww/en/product-range/2199-prisma-p/. [Använd 2 Maj 2023].

[32] Schneider Electric, ”Se.com,” [Online]. Available: https://www.se.com/ww/en/download/document/AMTED310010EN/. [Använd 3 Maj 2023].

[33] Schneider Electric, ”PremSeT catalogue 17.5kV Compact modular vacuum switchgear SSIS,” 2020.

[34] UEE, ”UEE Buildings.pdf”.

[35] UEE, ”E-Houses | Electrical & Hydro-Electric Power Substation & Switchgear Manufacturer – UEE,” [Online]. Available: https://uee.com/products%5d/e-houses. [Använd 2 Maj 2023].

[36] TGOOD, ”TGood.com,” [Online]. Available: http://tgood.com/eu/en/our-offer/modular-substation. [Använd 8 Maj 2023].

[37] TGOOD, ”145KV MODULAR SUBSTATION,” Hong Kong.