

Teknikval, utdrag ur samrådsredogörelse 2 2015-12-22, reviderat 2017-02-22

1.1 Svenska kraftnät – en modern myndighet som använder moderna metoder

Svenska kraftnät är ett statligt affärsverk med uppgift att förvalta Sveriges stamnät för el, som omfattar ledningar för 400 kV och 220 kV med stationer och utlandsförbindelser. Verket har också systemansvaret för el. Svenska kraftnät utvecklar stamnätet och elmarknaden för att möta samhällets behov av en säker, miljövänlig och ekonomisk elförsörjning. Därmed har Svenska kraftnät också en viktig roll i klimatpolitiken.

Svenska kraftnät bedriver och stöttar forskningsprojekt för att klara viktiga utmaningar för stamnätet för el, dammsäkerheten och möjliga risker i kraftsystemet.

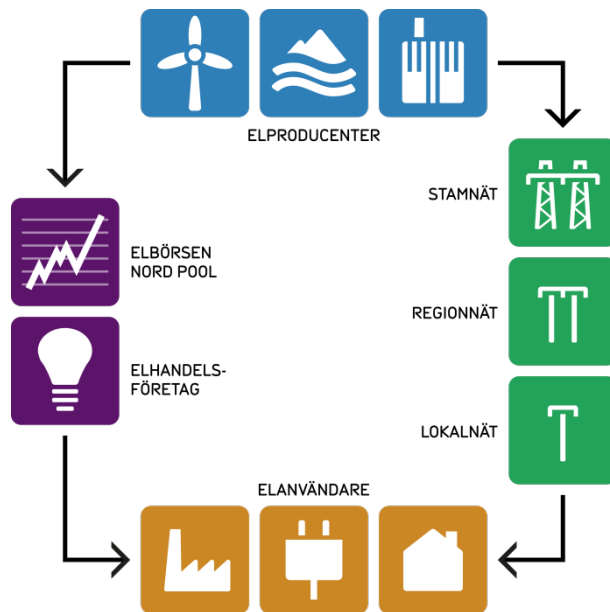
Större delen av vår forskning bedrivs i utvecklingsföretagen Energiforsk och STRI som Svenska kraftnät är delägare i. Svenska kraftnät stödjer också forskningsprojekt, doktorandprojekt och examensarbeten vid de tekniska högskolorna runtom i Sverige.

1.2 Stamnätets uppbyggnad och behovet av ledningen

Ryggraden i det nordiska elsystemet är de enskilda ländernas växelströmsnät. Växelström är en förutsättning för att elnäten i de nordiska länderna ska kunna hållas sammankopplade synkront¹, vilket möjliggör en gemensam nordisk balans- och reservhållning vilket är en förutsättning för en gemensam elmarknad se figur 3.1.

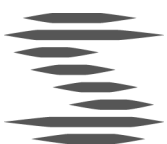
Växelströmsnäten kan kompletteras med, men inte ersättas av, likströmsförbindelser.

¹ Synkront innebär att systemen har samma frekvens



Figur 3.1 Illustration av elens väg och elhandelns aktörer.

Sveriges och EU:s klimat- och energipolitiska mål ställer krav på omfattande förstärkningar av det svenska stamnätet för att ny småskalig energiproduktion ska kunna anslutas. Stora mängder förnybar elproduktion både på land och till havs tillkommer och förändringar görs i kärnkraftverkens produktion. Växelströmsnäten måste göras starkare både för att medge anslutning och överföring av de stora nya produktionsvolymerna och för att klara anslutning av eventuella likströmsförbindelser med hög kapacitet inom växelströmsnäten och till grannländerna. Det svenska stamnätet med utlandsförbindelser och stamnätet i de nordiska grannländerna och Baltikum visas i figur 3.2.





Figur 3.2. De nordisk-baltiska stamnäten



1.2.1 Ett starkt stamnät

Svenska kraftnäts styrelse fastställde i april 2013 ett långsiktigt plandokument om utvecklingen av det svenska stamnätet, Perspektivplan 2025. Inom ramen för organisationen European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E) upprättas vartannat år en tioårig nätutvecklingsplan – Ten Year Network Development Plan (TYNDP).

Det svenska stamnätet är inne i en period av mycket omfattande utbyggnad. Förstärkningarna behövs för att omhänderta tillkommande förnybar elproduktion, fördjupa marknadsintegrationen med omvärlden och bidra till skapandet av en gemensam europeisk elmarknad. Samtidigt finns det ett mycket betydande reinvesteringsbehov. Med grund i Perspektivplan 2025 har Svenska kraftnät därför upprättat en tioårsplan där Svenska kraftnäts prioriteringar preciseras och utvecklas.

Alla produktionsanläggningar² som ansluts till stamnätet måste uppfylla grundläggande tekniska krav så att de är skyddade i händelse av störningar i stamnätet. Det är även viktigt att stamnätet är konstruerat på ett sätt som försäkrar att elförsörjningen fungerar även om fel skulle uppstå i någon av anläggningarna eller i stamnätet.

Störningar i stamnätet som till exempel ett blixtnedslag kan leda till att en ledning fränkopplas vilket försvagar överföringssystemet.

Styrkan i nätet är beroende av hur många ledningar som ansluter till transformatorstationerna i stamnätet. Nätet blir alltså starkare genom att man ökar antalet ledningar som en stamnätsstation ansluts med. På motsvarande sätt blir nätet svagare om en ledning behöver kopplas bort på grund av inträffat fel eller när underhållsarbeten behöver genomföras.

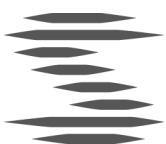
1.2.2 Behovet av en ny ledning

NordBalt

En ny elförbindelse, kallad NordBalt, har färdigställts mellan Nybro i Sverige och Klaipeda i Litauen. Denna binder samman de baltiska staternas elnät med det nordiska. Den nya förbindelsen medför att den överförda mängden el ökar kraftigt i regionen.

De planerade ledningarna Ekhyddan – Nybro – Hemsjö är ett svenskt projekt som ingår i det internationella klustret NordBalt, vilket är en förbindelse mellan Sverige och Baltstaterna. Projektet och klustret finns upptaget bland godkända PCI:er från 2013 som "4.4.2 Internal line between Ekhyddan and Nybro/Hemsjö (SE)". I detta

² Med produktionsanläggning menas här både ett kraftverk eller en likströmsförbindelse till ett annat produktionssystem



kluster ingår även ett PCI som omfattar linjen mellan Ventspils, Tume och Imanta (Litauen).

Ekhyddan – Nybro – Hemsjö ingår i European Network of Transmission System Operators for electricity (ENTSO-E) Ten Year Network Development Plan 2014 (TYNDP 2014). Den ingår tillsammans med andra projekt i klustret NordBalt 2, i TYNDP benämnd kluster nummer 124 och investeringsnummer 733.

Ekhyddan – Nybro – Hemsjö finns också med som projektkandidat i det pågående arbetet med att välja ut PCI:er för nästa period.

Ledningen har som syfte att förbättra stamnätets överföringsförmåga, i normal- och reservdrift, genom regionen efter det att utlandsförbindelsen NordBalt mellan Sverige och Litauen har tagits i drift. NordBalt ansluter till 400 kV-stationen i Nybro och ökar effekttransporten genom regionen med upp till 700 MW.

Om någon av de två 400 kV-ledningarna som är anslutna i Nybro idag kopplas bort, överförs automatiskt den ström som ledningen transporterar till andra ledningar i området. Överbelastning kan då uppstå i det parallella underliggande 130 kV-regionnätet, vilket i sin tur kan leda till en regional spänningskollaps, med omfattande strömavbrott som följd.

Ett systemvärn har installerats i Nybro, som en del av NordBalt-projektet. Systemvärdet kopplar från NordBalt vid bortfall av en 400 kV-ledning ansluten till Nybro om effektriktningen är ogynnsam. En systemvärnlösning får anses som provisorisk då den följer direkt efter ett ledningsfel och ger upphov till två stycken samtidiga fel genom en fränkoppling av upp till 700 MW import eller export, vilket inte uppfyller kraven på driftsäkerhet. NordBalt kan heller inte vara i drift vid underhållsarbeten på ledningssträckorna Ekhyddan – Nybro eller Nybro – Hemsjö utan att överbelasta det regionala nätet.

En ny 400 kV-ledning från Ekhyddan till Hemsjö via Nybro eliminerar problemet med överlast i regionnätet efter ett fel i stamnätet, eftersom en parallell ledning automatiskt är reserv om den andra ledningen skulle kopplas från. Den nya ledningen kommer att passera snitt 4, den sektion i nätet som bildar gräns mellan elområdena SE3 och SE4 i Sverige. Med en bättre överföringsförmåga över dessa snitt minskar de regionala skillnaderna mellan elproduktion och elkonsumention, vilket utjämnar elpriset.

Genom att bygga en ny 400 kV-ledning mellan stationerna Ekhyddan, Nybro och Hemsjö nås följande mål.



- > Svenska kraftnäts kriterier för driftsäkerheten, att ett fel i stamnätet ska kunna hanteras utan konsekvens för slutkund, kan uppfyllas för stam- och regionnät.
- > NordBalt kan utnyttjas som avsett dvs. för att exportera eller importera en effekt om 700 MW.
- > Avbrott kan utan betydande kostnader tas på existerande parallella ledningar under den tid som krävs för framtida uppgradering av deras kapacitet.

Dessutom uppkommer ett antal positiva följd effekter.

- > Överföringsförlusterna i nätet minskar.
- > Den framtida överföringskapaciteten genom snitt 4 ökar med ca 500 MW vilket reducerar förekomsten av prisskillnaden mellan elområdena i Sverige.
- > Ledningen fungerar som automatisk reserv för övriga ledningar mellan elområde SE3 och SE4.

Avveckling av kärnkraft och anslutningspunkt för vindkraft från Gotland

Samtliga kärnkraftreaktorer och en eventuell anslutningspunkt på fastlandet för inmatning av vindkraft från Gotland är geografiskt belägna norr om det aktuella projektområdet. Eftersom det är förbrukningen, som i detta fall är belägen söder om Oskarshamn som driver effektflödena genom överföringssystemet, så påverkar en avveckling av dessa produktionskällor inte effektflödet genom området. Det är snarare så att det kan behövas fler ledningar norr om området för att möjliggöra en tillförsel av den effekt som tidigare producerades lokalt.

Två etapper

Svenska kraftnät har valt att dela upp förbindelsen i två etapper, nämligen Ekhyddan – Nybro resp. Nybro – Hemsjö för att underlätta kommande koncessionsprocess och samråd, ge bättre grund för val av huvudalternativ samt ge större möjlighet att, efter koncession, påbörja byggandet av förbindelsen etappvis



1.3 Driftsäkerhet

Svenska kraftnät har systemansvaret för el enligt 8 kap. 1 § ellagen. Som systemansvarig myndighet har Svenska kraftnät det övergripande ansvaret för att elektriska anläggningar samverkar driftsäkert. I Svenska kraftnäts uppdrag ingår att bygga och underhålla ett stamnät som uppfyller kravet på driftsäkerhet.

Under 2004 genomfördes en översyn och utvärdering av de nordiska nätdimensioneringsreglerna och driftsäkerhetskriterierna. Slutsatsen var att det inte fanns någon anledning att ändra på eller frångå dessa regler, utan att i stället arbeta för att säkerställa att reglerna följs.

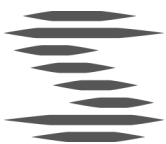
De mål för driftssäkerhet som Svenska kraftnät ska leva upp till beslutades av regeringen den 24 september 2009. Målen är den konkreta följden av att Sverige genomförde artikel 4.2 i Europarådets och parlamentets direktiv (2005/89/EG) om åtgärder för att trygga elförsörjning och infrastrukturinvesteringar.

Dagens tekniska dimensionering av stamnätet är baserad på en grundläggande princip, nämligen det internationellt använda (N-1) kriteriet. Det innebär att ett system med N komponenter ska ha full funktionalitet även om systemet drivs med (N-1) komponenter, dvs. att vilken godtycklig komponent som helst ska kunna kopplas från utan att detta påverkar systemets funktionalitet. En komponent kan till exempel utgöras av en ledning, transformator eller generator. Inom 15 minuter efter ett fel ska driften vara återställd inom normala gränser och kunna klara ett eventuellt nytt fel.

Ett system som ska vara opåverkat av varje enskild händelse måste ges en robust utformning som är tålig mot störningar. För att erhålla hög driftsäkerhet i den nationella elförsörjningen är det svenska stamnätet utformat som ett maskat (flera förbindelser mellan de olika stationerna) och direktjordat system.

Ett systems robusthet är beroende av antalet komponenter i systemet. Om man ser varje komponent som en potentiell felkälla så ökar antalet felkällor i takt med att man bygger ut systemet. I motsats till detta betyder en högre grad av maskning av systemet, dvs. fler förbindelser, ökad driftsäkerhet.

Driftsäkerheten för luftledningar vid skogsbrand har aktualiserats. Luftledningar förstörs inte av brand men fränkopplas kontrollerat av säkerhetsskäl när släckningsper-



sonal arbetar i närheten av dem. Markkabel kan däremot skadas av brand om denna är i direkt anslutning till branden och markens ledningsförmåga är hög.

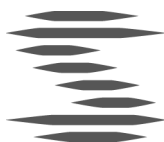
1.4 Parallellbyggnad, sambyggnad och korsning

Parallellbyggda ledningar, såsom de definieras i Svenska kraftnäts riktlinjer, utgörs av två eller flera ledningar som byggts så nära varandra att de systemsäkerhetsmässigt kan påverka varandra efter t.ex. ett mekaniskt fel på en stolpe. Ett fel på en ledning kan alltså ge upphov till ett följdfel på en annan ledning. Ledningar kan dock vara geografiskt parallella utan att ledningarna systemsäkerhetsmässigt betraktas som parallellbyggda om avståndet mellan ledningarna är tillräckligt stort.

De planerade ledningarna Ekhyddan – Nybro - Hemsjö ligger geografiskt i närheten av en redan befintlig ledning längs en stor del av sträckan. Den ligger dock inte så nära att ledningarna ur ett systemsäkerhetsmässigt perspektiv är att definiera som parallellbyggda. När en och samma stolpe används för två eller flera ledningar kallas utformningen för sambyggnad. Ofta efterfrågas sådana lösningar i syfte att minska markanvändningen. För sambyggnad i så kallade julgransstolpar blir ledningsgatan mindre, ca 35 meter, än för traditionella portalstolpar. Julgransstolpen blir däremot mycket högre då faslinorna placeras i höjddled i stället för bredvid varandra. På grund av driftsäkerheten måste beroenden mellan olika komponenter reduceras så att risken för störningar blir rimligt låg sett i ett nationellt perspektiv. Exempel på beroenden som kan ge en oacceptabel nationell risk är parallellbyggnad eller sambyggnad av stamnätsledningar. Det beror på att stamnätet ska vara byggt så att det klarar frånkoppling av en ledning eller annan komponent i taget utan att detta resulterar i strömavbrott. När två stamnätsledningar står nära varandra, alternativt i samma stolpar, finns risk att det blir avbrott på båda samtidigt vid till exempel extrema väderförhållanden, skogsbränder eller stolpbrott.

En stamnätsledning får parallellbyggas, alternativt sambyggas, med regionnätsledningar under förutsättning att det endast medför lokala eller regionala konsekvenser om en händelse skulle leda till att ledningarna faller bort samtidigt. Det måste alltså utredas från fall till fall om en parallellbyggnad eller sambyggnad med en regionledning kan accepteras.

Korsande ledningar utgörs av två ledningar där en passerar över den andra. Ofta efterfrågas sådana lösningar i syfte att minimera antalet permanentbostadsbyggnader som måste förvärvas på grund av magnetfält och för att det rent geografiskt är omöjligt att dra ledningar utan att korsa.



Korsning av stamnätsledningar ska så långt som möjligt undvikas. Det är dock inte tekniskt och ekonomiskt rimligt att helt undvika korsande stamnätsledningar. Vid korsning mellan stamnätsledningar ska därför extra säkerhetsåtgärder vidtas genom särskild utformning av komponenterna i korsande och angränsande spann.

1.4.1 Riskanalys för parallellbyggnad, sambyggnad och korsning.

Ur ett driftsäkerhetsperspektiv är det mycket allvarligt om två ledningar i stamnätet skulle slås ut samtidigt. Det är de samhälleliga konsekvenserna av en störning på stamnätet som ligger till grund för kraven på driftssäkerhet. Om en störning kan inträffa måste den beaktas. Konsekvenserna vid ett stamnätsavbrott som drabbar elanvändare kan bli så stora att de anses oacceptabla och därför görs ingen sannolikhetsbedömning.

Det är av detta skäl som sambyggnad av stamnätsledningar inte accepteras. Samma skäl innebär också att parallellbyggnad³ och korsningar av stamnätsledningar bör undvikas och endast accepteras om en systemutredning kan visa att överföringssystemet är stabilt även om båda ledningarna kopplas bort samtidigt. Detta är överordnat det slag av riskanalys och samhällsekonomisk analys som i vissa yttranden har efterfrågats. Den koncessionsprövning som kommer att göras av Energimarknadsinspektionen kommer att ta ställning till den samhällsnytta som ledningen förväntas medföra och ställa den mot de intrång och den påverkan som ledningen orsakar. I de fall där det inte finns andra framkomliga alternativ kan undantag behöva göras. En bedömning görs då i varje enskilt fall.

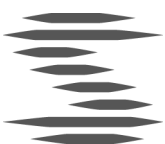
1.4.2 Parallell- och sambyggnad i projekt Ekhyddan – Nybro - Hemsjö

Den tekniska förstudien, som föregår projektet, har tagit ställning till att ledningen ska byggas som en luftledning. Den kommer att geografiskt gå parallellt med befintlig 400 kV ledning på en längre del av sträckan och geografiskt parallellt med E.ON Elnät Sveriges 130 kV- ledning en kortare sträcka. Den ligger dock inte så nära att ledningarna ur ett säkerhetsmässigt perspektiv är att definiera som parallellbyggda.

Resterande sträcka kommer ledningen att gå i ny ledningsgata.

Det finns inga planer för sambyggnad med andra stam- eller regionnätledningar.

³ Parallellbyggnad ur ett säkerhetsperspektiv vilket inte är fallet för Ekhyddan – Nybro – Hemsjö.



1.4.3 Parallellbyggnad av luftledning med annan infrastruktur

Parallellbyggnad med väg eller järnväg kan teoretiskt ske längs delsträckor där vägar eller järnvägsspår stämmer överens med ledningens sträckning. Ledningens sträckning kommer endast delvis att kunna följa vägen eller järnvägen på grund av olika krav på kurvängder, byggsätt m.m. Detta, tillsammans med krav på säkerhetsavstånd mellan vägar och ledningar, kommer att innebära breda områden med öppna ytor. För parallellbyggnad med allmän väg kan den totala öppna ytan bli minst 100 meter bred. Den större ytan kan medföra att fler boendemiljöer påverkas, eftersom bostäder förekommer frekvent i närheten av vägar och järnväg.

Geografisk parallellbyggnad med annan infrastruktur är inte aktuell för Ekhyddan – Nybro – Hemsjö.

1.4.4 Parallellläggning av markkabel med annan infrastruktur

Markkablar måste ta hänsyn till markens beskaffenhet. Det innebär att ledningssträckan blir längre i mark än i luft. Ledningsförläggning längs vägar blir längre p.g.a. vägars kurvighet och att tätorter, hus och andra hinder som ligger intill vägen måste kringgås.

Tillståndspliktiga naturområden kan påverkas i större grad än vid luftledning. Ledningsgatan blir betydligt bredare än om enbart en jordlina markförläggs. Byggvägar måste anläggas längs hela ledningssträckningen. Dock blir den totala markupplåtelsen för markkabel mindre än för luftledning.

En översiktlig bedömning ger vid handen att ledningsgatan för en parallellagd markkabel jämfört med luftledning förlängs med minst två mil för sträckan Ekhyddan – Nybro – Hemsjö. Till detta kommer andra nackdelar med markförlagd växelström, se avsnitt 3.5.2 Luftburen och markförlagd växelström.

1.5 Teknikval

1.5.1 Växelströmsteknik och likströmsteknik

Växelström är en elektrisk ström som oupphörligen växlar riktning. Alla stora elsystem i Europa är baserade på en 50-periodig växelström dvs. att den ändrar riktning 100 gånger per sekund (antalet positiva och negativa maximivärden per sekund). Det innebär att strömmens frekvens är 50 Hz.

Växelströmstekniken är i dag dominerande inom elförsörjningens alla led. I stort sett all el produceras och konsumeras som växelström. Alla generatorer och vissa större



motorer i elkraftsystemet roterar med samma frekvens (50 Hz), vilket innebär att de kan samverka och fördela ström mellan systemets olika delar.

I ett överföringssystem bestående av växelströmsförbindelser fungerar de enskilda ledningarna som automatiska reserver för varandra. Om en ledning kopplas bort överförs den ström som passerade den felaktiga ledningen automatiskt och momentant till de andra ledningarna på ett förutsägbart sätt. En likströmsförbindelse reagerar inte automatiskt utan förändrar sitt effektlöde först efter ett ingrepp av kontrollsystemet. Luftledning för växelström är alltid huvudalternativet när Svenska kraftnät väljer teknik.

Den grundläggande förutsättningen för att använda likström för överföring med hög kapacitet över stora avstånd är att likströmsledningen kan anslutas till ett starkt växelströmsnät, som kan leverera elen som produceras i synkrogeneratorer till likströmslänken och i andra ändan av länken fördela motsvarande el.

Användningsområdena för likströmsöverföring är främst följande.

1. Elutbyte mellan olika synkronområden.
2. Anslutning av havsbaserad förbrukning/produktion.
3. Utbyggnad av likströmssystem för överföring av höga effekter genom områden med överföringsbegränsning, utan påverkan på underliggande växelströmssystem.

Svenska kraftnät använder idag likströmsteknik för anslutning av det svenska kraftsystemet till andra synkronområden såsom Jylland, Tyskland, Litauen och Polen. Detta görs av två anledningar. Dels åtskiljs kraftsystemen av vatten på så stort avstånd att annan teknik inte fungerar, dels innebär frekvenskillnaden mellan kraftsystemen att elutbytena måste styras i stället för att kunna flyta fritt.

Att förstärka växelströmsnätet medför en flexibilitet för framtiden när ny produktion eller nya transformatorstationer ska anslutas. Sådana anslutningar blir avsevärt enklare och kan göras till mycket lägre kostnader jämfört med om de skulle anslutas till ett likströmssystem.

I närtid kommer Svenska kraftnät att ta ytterligare en likströmsförbindelse i drift. Det är SydVästlänken mellan Hallsberg och Hurva. SydVästlänken bygger delvis på likströmsteknik. Den innebär ett nytt steg i användningen av likströmsteknik, eftersom



det är den första DC⁴-länken som överlagras på det befintliga växelströmsystemet. Här kommer den stora fördelen med likström till sin rätt, nämligen att det blir möjligt att styra effektflödet mellan två starka växelströmpunkter i stamnätet. Likströmsteknik kan med fördel användas för SydVästlänken eftersom ett fel på SydVästlänken inte innebär att el överförs till ett regionalt parallellt nät eftersom ett sådant saknas. Den kan av samma skäl inte användas för Ekhyddan – Nybro – Hemsjö.

1.5.2 Luftburen och markförlagd växelström

Att överföra växelström med luftledning är tekniskt enkelt, driftsäkert och ekonomiskt fördelaktigt. Det går snabbt att reparera eventuella skador i jämförelse med en markkabel.

Markkabel för 400 kV växelström är möjligt vid korta avstånd. Närheten mellan ledaren och nollpunkten i en kabel medför att det uppstår extrema färförskjutningar mellan ström och spänning vilket genererar så kallad reaktiv effekt. På längre sträckor innebär det att den el som kan nyttiggöras i slutet av kabeln endast blir en bråkdel av det som matats in i kabelns andra ände. Redan efter ca 20 km behövs en kompenseringstation för att korrigera färförskjutningen om det ska komma fram någon användbar el i kabeln. Växelström på lägre spänningsnivåer än 400 kV kan förläggas med kabel i längre sträckor innan motsvarande problem uppstår.

En kompenseringstation är i princip ett ställverk med samlingskenor och brytare. Till samlingskenorna kopplas ett antal oljefyllda reaktorer som kompenserar för färförskjutningen i förhållande till hur mycket effekt som överförs genom ledningen. Kompenseringstationer byggs inom ett avgränsat område med krav på utrymme, skyddsutrustningar, kylning, stängsel m.m. Det innebär att mark behöver tas i anspråk. Anläggningarna i sig medför ett ökat underhållsbehov samt större risk för att fel uppstår.

För att nå samma överföringskapacitet som en motsvarande luftledning tillverkas markkablarna med stora dimensioner och hög vikt. Därmed blir transportmöjligheterna på allmänna vägar och i obanad terräng begränsade för annat än korta längder på varje kabeltrumma. Normalt får ca 700 meter kabel plats på en kabeltrumma. I sin tur innebär det ett stort antal skarvar längs kabelsträckan som var och en innebär en förhöjd risk för fel. Vid stora krav på ledningarnas överföringskapacitet är det nödvändigt med flera kabelförband som läggs bredvid varandra vilket också ökar totalkostnaden

⁴ DC – Direct Current, likström



på anläggningen och medför att även kabelförläggning kommer att innebära anläggande av en ledningsgata och en accessväg, om än smalare än för en luftledning.

En teknisk livscykeljämförelse mellan en luftledning och en markkabel utfaller till luftledningens fördel. Den tekniska livslängden för en luftledning är över 70 år, medan både markkablar och eventuella omformarstationer för dessa har en teknisk livslängd på 30-35 år.

Sammantaget innebär markkabelförläggning även på korta sträckor att risken för att fel eller störningar ska uppstå blir större samt att möjligheterna att snabbt åtgärda fel och störningar begränsas. Det innebär i förlängningen att systemet inte får den driftsäkra, robusta och flexibla utformning som eftersträvas. Av dessa skäl bygger Svenska kraftnät regelmässigt växelströmsförbindelser som luftledning.

1.5.3 Teknikval för Ekhyddan- Nybro - Hemsjö

Eftersom stamnätet i övrigt består av ett växelströmsnät är det naturliga alternativet att bygga en luftburn växelströmsledning mellan stationerna Ekhyddan, Nybro och Hemsjö. Under den inledande samrådsprocessen har det framkommit önskemål om att även ett markförlagt likströmsalternativ ska presenteras och jämföras med växelströmsalternativet.

En sådan jämförelse, tillsammans med en mer teknisk presentation om varför projektet överhuvudtaget genomförs, görs i avsnitt 3.5.4 Grund för teknikvalet. Resultatet av jämförelsen sammanfattas i korthet nedan.

Ett nollalternativ dvs. att inte förstärka stamnätet mellan Ekhyddan, Nybro och Hemsjö innebär att strömavbrott kan uppstå både regionalt men även nationellt vid ett fel i stamnätet, vilket inte är acceptabelt.

Alternativet förstärkning med luftburna växelströmsledningar klarar vid fel att inom godtagbar tid återställa effekttransporten i det regionala nätet till acceptabla nivåer för driftsäkerhet.

Alternativet förstärkning med likström och markförlagda kablar ger en ytterligare feltid, som medför att synkronismen i det regionala ledningssystemet inte kan upprätthållas, utan att detta kan komma att brytas upp med strömavbrott som följd. Detta alternativ ger också högre effektförluster och sämre tillgänglighet jämfört med växelströmsalternativet. Likströmsteknik kan med fördel användas för SydVästlänken eftersom ett fel på SydVästlänken inte innebär att el överförs till ett regionalt parallellt



nät eftersom ett sådant saknas. Ekhyddan – Nybro – Hemsjö ingår i det svenska växelströmsnätet. Vid ett fel i nätet idag så överförs el till det parallella regionala nätet, som kan leda till att strömavbrott kan uppstå både regionalt men även nationellt, vilket inte är acceptabelt. Ledningarna Ekhyddan – Nybro - Hemsjö behövs bland annat för att undvika detta. Detta kan inte avhjälpas med likström, typ SydVästlänken, eftersom det inte har något regionalt nät. HVDC-alternativet bedöms av dessa skäl inte vara aktuellt i den fortsatta planeringen.

Sammantaget innebär markkabelförläggning även på korta sträckor att risken för att fel eller störningar ska uppstå blir större samt att möjligheterna att snabbt åtgärda fel och störningar begränsas. Den tekniska livscykeln är halverad för markkabel jämfört med luftledning. Vid skogsbrand förstörs inte luftledningar. Markkabel löper risk för att skadas. Det innebär i förlängningen att systemet inte får den driftsäkra, robusta och flexibla utformning som eftersträvas.

Att förlägga den planerade växelströmsledningen som en markkabel för växelström bedöms inte ge den driftsäkerhet som erfordras.

1.5.4 Grund för teknikvalet

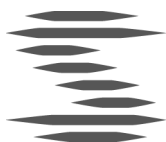
Nollalternativ

Stamnätsstationen i Nybro är idag ansluten till övriga stamnätet med två 400 kV-ledningar. En 400 kV-ledning löper norrut till stationen FT61 Ekhyddan och en söderut till stationen Hemsjö. De tre stamnätsstationerna har varsin 400/130 kV-transformering till ett regionnät som löper parallellt med 400 kV-nätet.

Detta innebär att om en 400 kV-ledning kopplas bort så överförs den el som transporterades på ledningen till andra ledningar i systemet. I fallet Ekhyddan – Nybro – Hemsjö medför detta att en stor mängd el, vid ett fel, överförs från stamnätet till det parallella regionala nätet. I dagsläget kan denna situation hanteras men ledningarna måste kopplas bort när underhållsåtgärder ska vidtas på dem. Underhåll kan därför bara utföras under den tidsperiod när kärnkraftverket i Oskarshamn är avställt.

När HVDC⁵-länken NordBalt mellan Nybro och Klaipeda i Litauen tas i drift kommer effekttransporten genom området Ekhyddan – Nybro – Hemsjö att öka med upp till 700 MW. Ökningen motsvarar ca 65 procent av ledningarnas termiska kapacitet och överlagras på den effekttransport som sker för den regionala förbrukningen, vilket

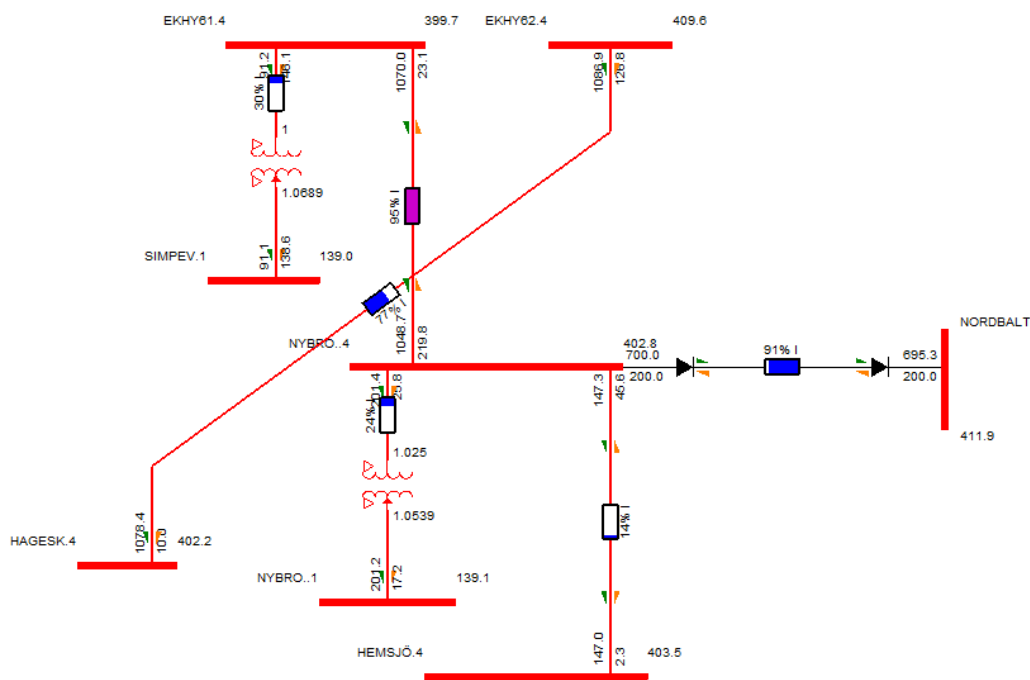
⁵ HVDC – High Voltage Direct Current



innebär att de befintliga ledningarna kan belastas mot sina termiska gränser. En normaldriftssituation med 700 MW export på NordBalt framgår nedan (figur 6).

Figur 6 visar att 400 kV-ledningen mellan Ekhyddan och Nybro belastas till 95 procent av sin termiska kapacitet och att spänningarna i FT61 Ekhyddan, Nybro och Hemsjö är låga, ungefär 10 kV under den spänning (410 kV) som används som riktvärde för den operativa driften. Detta trots att alla spänningsregleringsresurser i området är fullt aktiverade.

Som en följd av att ledningen mellan FT61 Ekhyddan och Nybro är så högt belastad flyter endast en begränsad effekt mellan Nybro och Hemsjö. Överföringssystemet "or- kar" inte mata Hemsjö med mer effekt längs denna förbindelse, utan Hemsjö försörjs i stället "bakvägen" via Alvesta – Hurva.

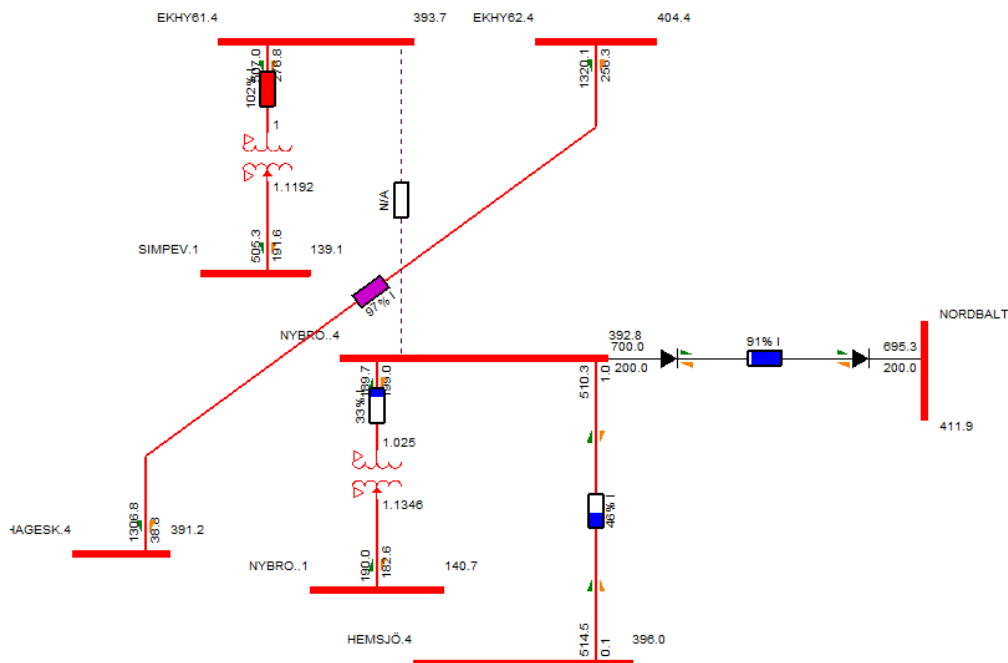


Figur 6. Överföringssystemet i normaldrift utan förstärkning och vid export till Litauen

Kombinationen av en hög ledningsbelastning och de resulterande låga spänningarna motiverar i sig en förstärkning av sektionen Ekhyddan – Nybro, eftersom systemet inte är stabilt mot bortfall av stora generatorer eller övrig spänningsregleringsutrustning.



Om ledningen mellan Ekhyddan och Nybro kopplas bort uppstår den reservmatnings-situation som visas nedan (figur 7).

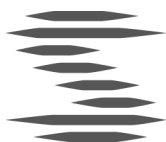


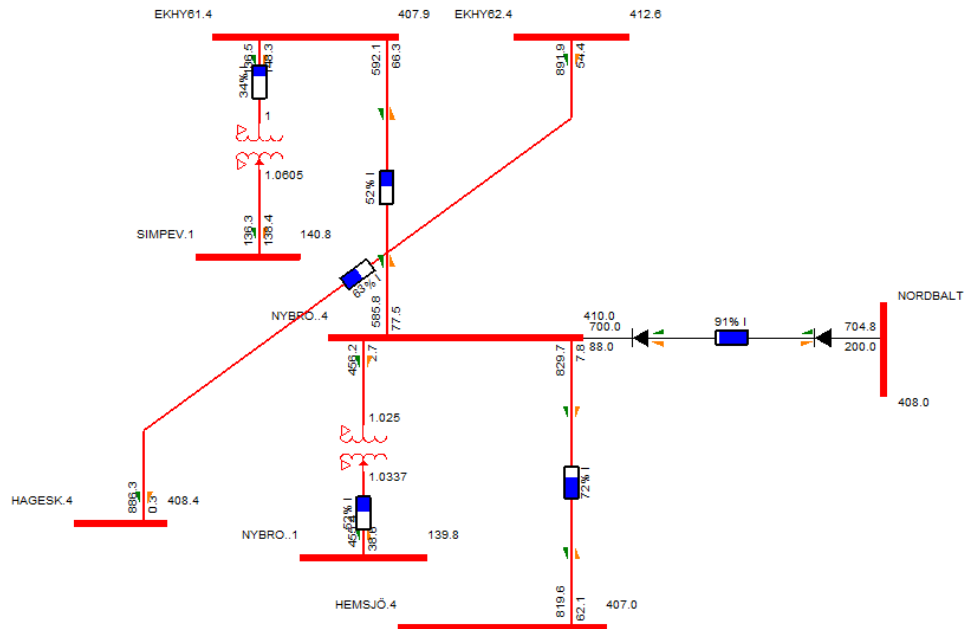
Figur 7. Överföringssystemet i reservdrift utan förstärkning och vid export till Litauen

Figur 7 visar att transformatorn i FT61 Ekhyddan belastas över sin termiska gräns och att både regional förbrukning i Nybroområdet och export på NordBalt matas "bakvägen" genom Skåne och via transformatorn i Nybro. Spänningarna i området är nära 390 kV vilket är oacceptabelt lågt. Spänningar kring 390 kV och fullt utnyttjade spänningsregleringsutrustningar i området innebär en kritisk driftsituation, eftersom vilket följdfel som helst i området skulle kunna medföra en större spänningskollaps.

Vad som inte syns på bilden är att det även uppstår betydande överbelastningar i det regionala ledningsnätet. Om någon av de överbelastade regionala ledningarna skulle kopplas bort är risken för spänningslöshet i delar av regionen stor.

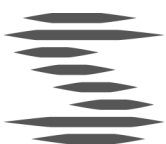
En normaldriftsituation med 700 MW import på NordBalt utan förstärkning framgår av figur 8. Bilden visar ett ledningssystem med bra spänningar och utan överbelastningar.

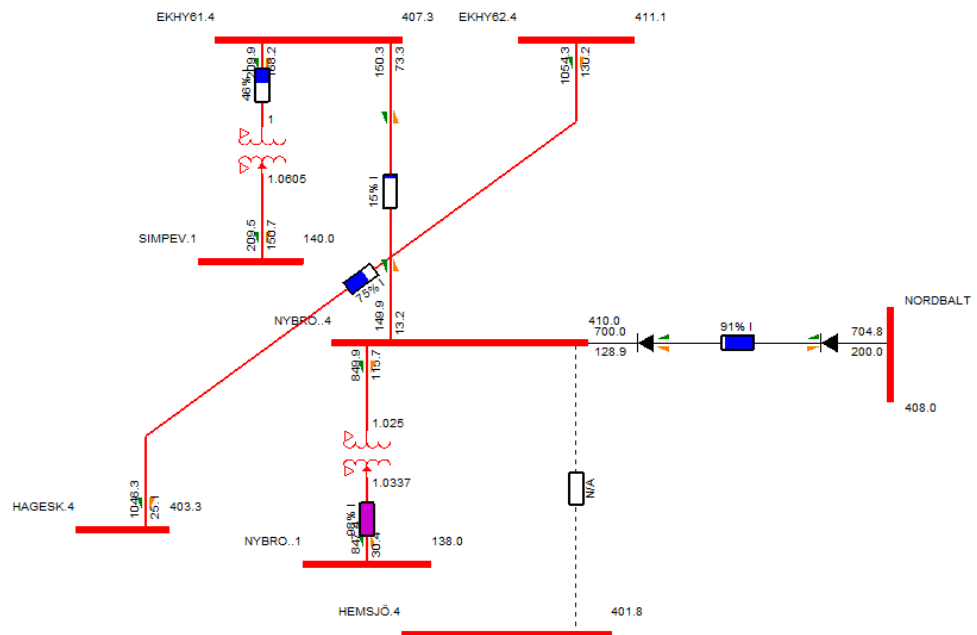




Figur 8. Överföringssystemet i normaldrift utan förstärkning och vid import från Litauen

Dimensionerande felfall för driftläget är ett bortfall av 400 kV-ledningen mellan Nybro och Hemsjö. Detta driftläge visas på figur 9 nedan.





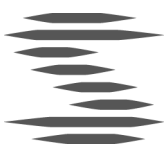
Figur 9. Överföringssystemet i reservdrift utan förstärkning och vid import från Litauen.

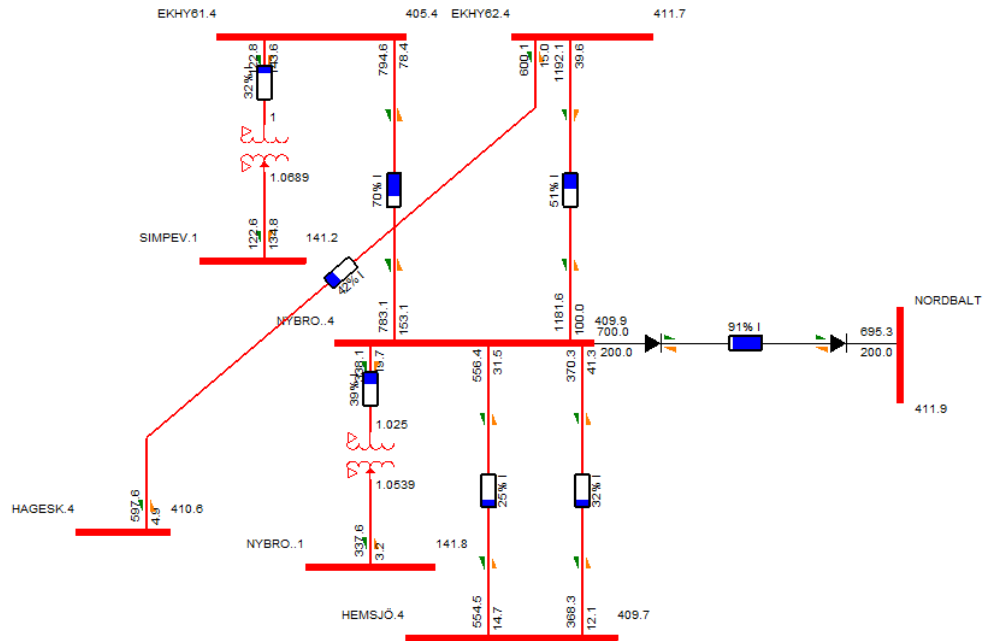
Figur 9 visar ett överföringssystem med godkända spänningar men med en transformator i Nybro som är belastad till sin termiska gräns på 850 MW. De 850 MW som passerar transformatorn fördelas ut i det regionala nätet, vilket medför att den termiska gränsen för flera ledningar överskrids. Det är inte acceptabelt.

Ett nollalternativ dvs. att inte förstärka stamnätet mellan Ekhyddan, Nybro och Hemsjö kommer att innebära att spänningslöshet kan uppstå både regionalt och även nationellt vid ett följdfel. Detta är givetvis inte acceptabelt. Det står helt klart att stamnätet är i behov av förstärkningsåtgärder.

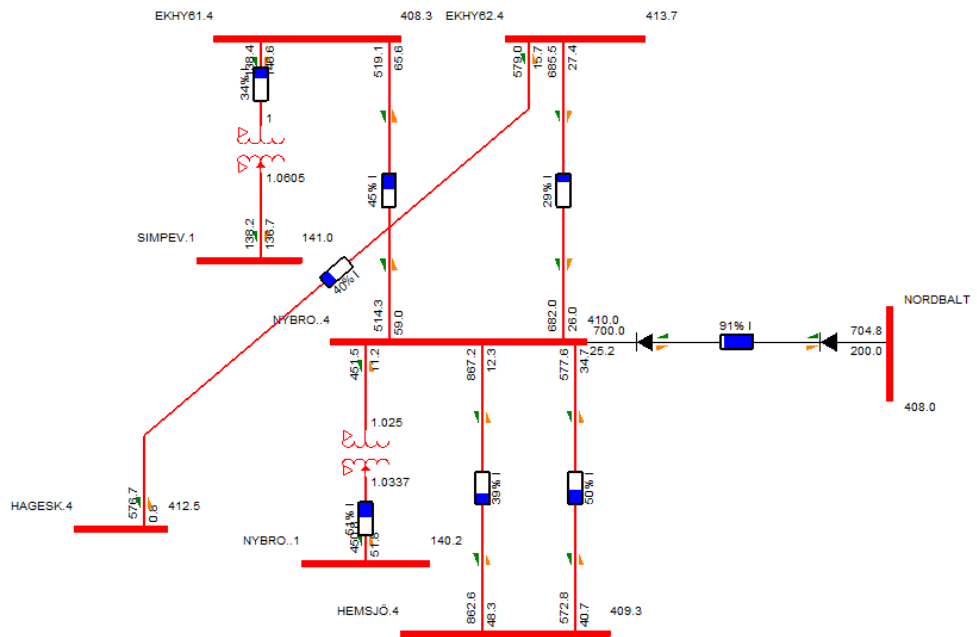
Förstärkning med luftburna växelströmsledningar

Stamnätet kan förstärkas genom att man bygger en ny 400 kV växelströmsledning mellan FT62 Ekhyddan och Nybro. Det löser problemet vid export till Litauen. En ny 400 kV växelströmsledning mellan Nybro och Hemsjö löser problemet vid import från Litauen. Dessa förstärkningsåtgärder ger ett driftläge i normaldrift enligt figurerna 10 och 11. Det är ett ledningssystem med bra spänningar och utan överbelastningar.





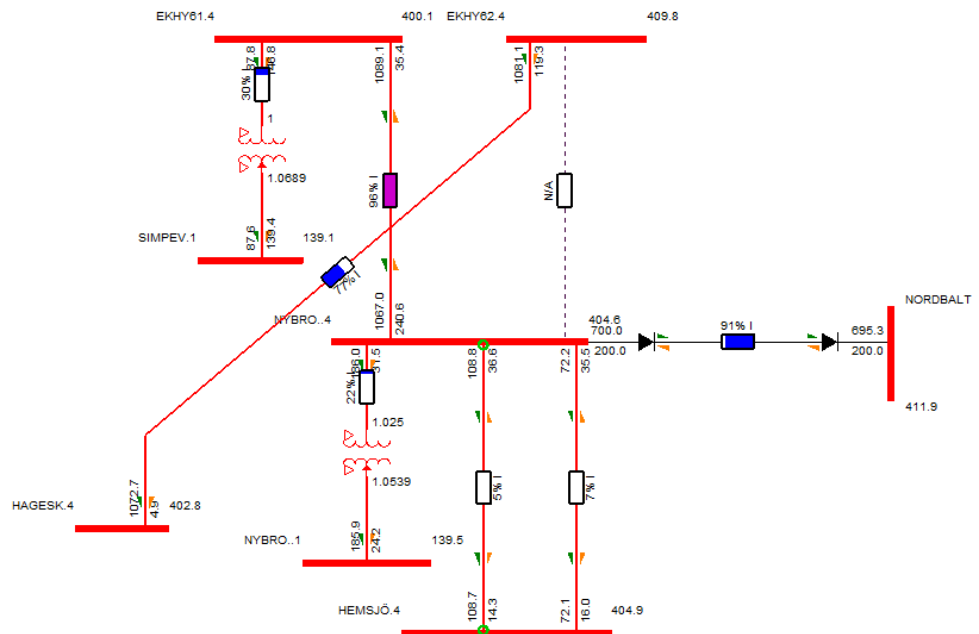
Figur 10. Överföringssystemet i normaldrift efter förstärkningar och vid export till Litauen



Figur 11. Överföringssystemet i normaldrift efter förstärkningar och vid import från Litauen



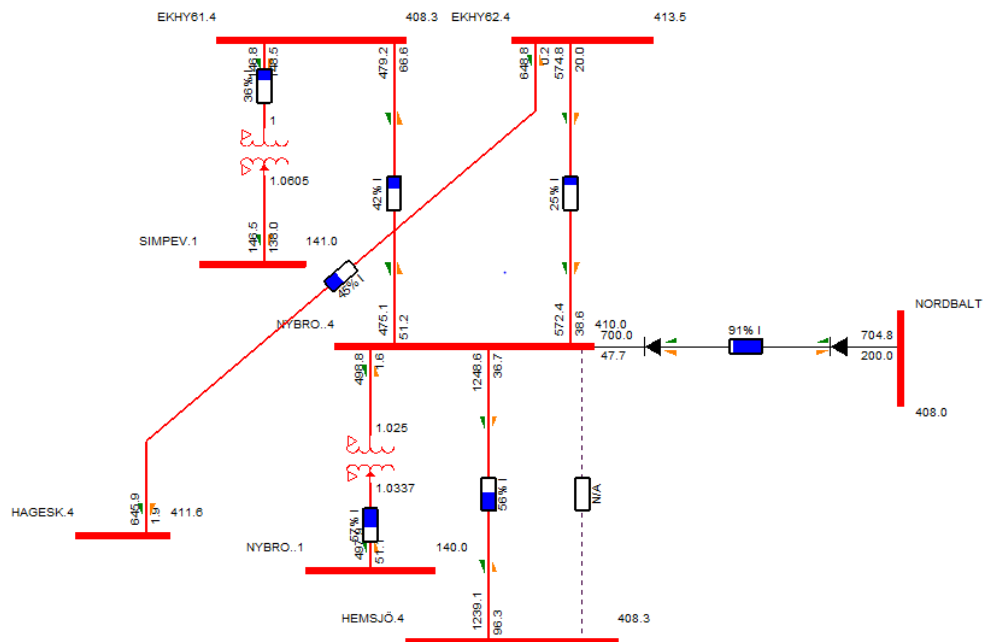
Dimensionerande felfall efter förstärkning och vid export är fortfarande bortkoppling av ledningen FT61 Ekhyddan – Nybro. Felfallet visas på figur 12 nedan.



Figur12. Överföringssystemet i reservdrift efter förstärkningar och vid export till Litauen

Dimensionerande felfall efter förstärkning och vid import är fortfarande fränkoppling av ledningen Nybro – Hemsjö. Felfallet visas på figur 13 nedan.





Figur 13. Överföringssystemet i reservdrift efter förstärkningar och vid import från Litauen

Figurerna 12 och 13 illustrerar ett förstärkt överföringssystem i reservdrift. Det är ett ledningssystem med bra spänningar och utan överbelastningar.

Gjorda beräkningar visar att överföringssystemet måste förstärkas mellan Ekhyddan och Hemsjö och att förstärkningarna kan utföras med luftledningar och växelströmsteknik. Resultaten är framtagna med s.k. statiska belastningsfördelningsberäkningar.

Beräkningarna är statiska i så måtto att varken tid eller systemfrekvens är parametrar som beaktas. I själva verket är tid en viktig parameter för bl.a. bestämmande av hur dynamiska objekt som generatorer och HVDC-länkar uppför sig. Även den tid som ett fel appliceras i systemet är viktig att beakta.

Beräkningarna har hittills förutsatt att ett ledningsfel inträffar, varefter det felbehäftade objektet omedelbart bortkopplas, utan att det synkrona kringliggande kraftsystemet hinner reagera.

Den inverkan som tiden i realiteten har kan illustreras med nedanstående resonemang efter nybyggnad av parallella växelströmsledningar mellan Ekhyddan, Nybro och Hemsjö.

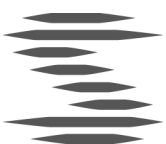


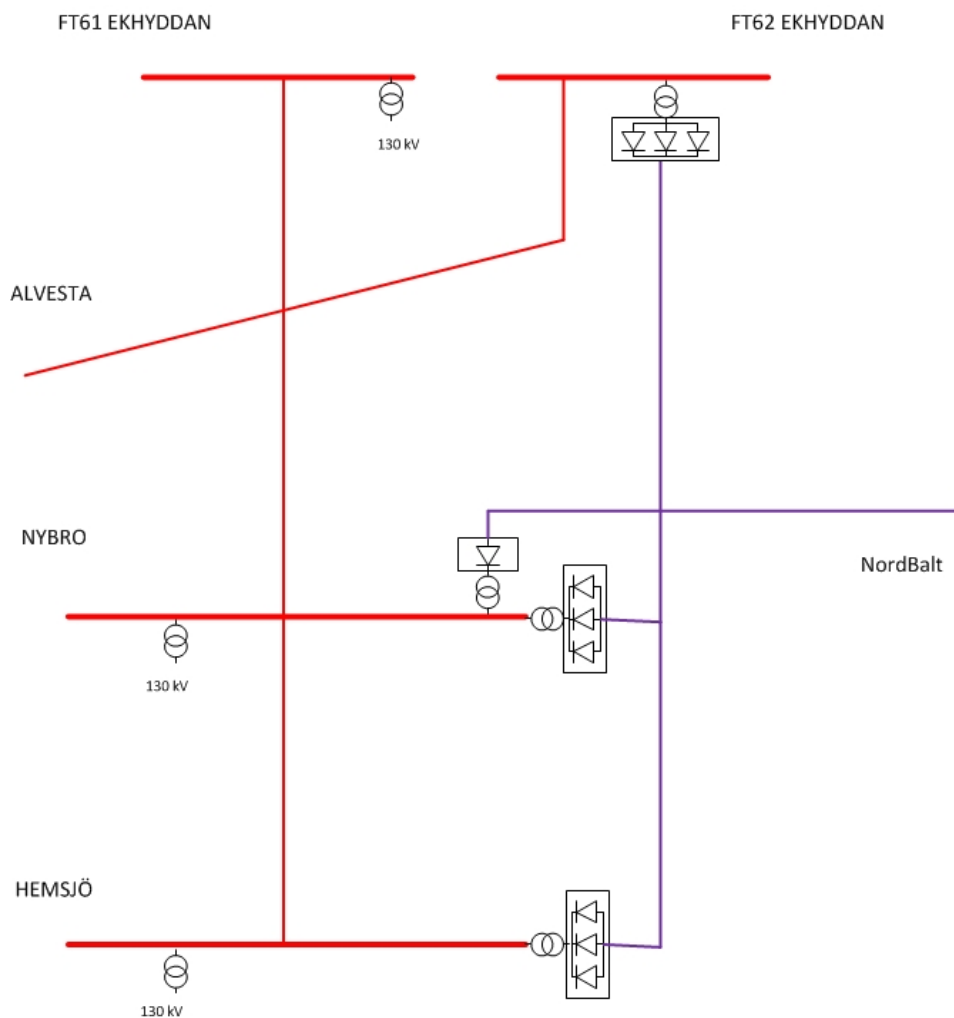
Tid=0	Ett 3-fasigt fel till jord inträffar på en av de två ledningarna som är anslutna i Nybro i närheten av samlingskenan.
Tid=0–250 ms	<p>Felet ligger på i 250 ms, vilket är den feltid som en generator eller en HVDC-länk ska klara utan att kopplas bort för att tillåtas anslutning till stamnätet.</p> <p>Spänningen i Nybro sjunker till 0 kV under feltiden och ingen effekt kommer att passera 400/130 kV-transformatorn i Nybro eller genom HVDC-länken till Litauen. Eftersom förbrukningen är proportionell mot spänningen sjunker förbrukningsnivån i närheten av Nybro och försörjs via reservmatningsvägar inom det regionala nätet, främst från Ekhyddan. Stora överbelastningar uppstår i det regionala nätet.</p> <p>Omriktarstationen för NordBalt blockeras och beroende på om NordBalt importerar eller exporterar effekt uppstår ett underskott eller överskott på upp till 700 MW i det nordiska elkraftssystemet. Detta är ett allvarligt felfall men eftersom det är förutsägbart finns momentan reservproduktionskapacitet som automatiskt börjar återställa den resulterande frekvensavvikelsen.</p>
Tid=250 ms	Felet kopplas automatiskt bort genom att reläskydden kopplar ur den felbehäftade ledningen mellan Ekhyddan och Nybro. Effektmatningen till Nybro återställs momentant och dess regionnätstransformator stöttar regionnätet genom de kvarvarande 400 kV-ledningarna.
Tid=250–550 ms	NordBalts omriktarstation känner att spänningen i Nybro har återställts och börjar reglera mot sin tidigare driftpunkt. Tidsåtgången för denna process är ca 300 ms. Under denna tid sker även en motreglering i det nordiska produktionssystemet.

Även ur en dynamisk synvinkel klarar ett växelströmsalternativ alltså inom godtagbar tid (250 ms) att återställa effekttransporten i det regionala nätet till acceptabla nivåer.

Förstärkning med likström och markförlagda kablar

Ett alternativ till ovanstående växelströmsalternativ kan vara att förstärka överföringskapaciteten med ett HVDC-system. Många samrådsyttranden kräver också en sådan lösning. Ett HVDC-alternativ illustreras på figur 14.





Figur 14. HVDC-alternativet.

Alternativet innebär att tre HVDC-omriktare med en total kapacitet på 2 100 MW, vilket motsvarar en 400 kV-luftledning, byggs i närheten av 400 kV-stationen Ekhyddan och förbinds med en ny 400 kV-ledning. Omriktarstationen kan inte placeras i direkt anslutning till det befintliga ställverket i Ekhyddan p.g.a. den yta, ca 500 x 200 meter, som måste tas i anspråk.



Motsvarande omriktarstationer byggs i anslutning till stationerna i Nybro och Hemsjö. Omriktarstationer i både Nybro och Hemsjö krävs för att erhålla kontakt med mottagande växelströmsnät och transformatorer till de regionala ledningssystemen.

HVDC-systemet kopplas ihop med markförlagda HVDC-kablar med en total kabel-längd om ca 6 x 200 km inklusive återledare.

Det skisserade HVDC-systemet har ur statisk synpunkt samma egenskaper som det växelströmsalternativet dvs. om en av de två existerande växelströmsledningarna kopplas bort kan likströmsförbindelsen närmast momentant styras upp så att den bär den totala effekt som ska överföras. Detta kan relativt enkelt utföras på så sätt att HVDC-länkens styrsystem övervakar effektbrytarna för växelströmsledningarna i Ekhyddan, Nybro och Hemsjö och snabbt styr upp HVDC-länken vid oväntade brytarlägesförändringar efter kontroll av riktningen på effektlödet i NordBalt.

HVDC-systemet kan dock inte anses som en integrerad del av det svenska stamnätet. För att åstadkomma det krävs ett redundans styrsystem som korrekt och momentant styr länken efter alla viktiga oväntade brytarlägesförändringar i det svenska kraftsystemet. HVDC-systemet måste också reagera korrekt och ögonblickligen på effektlödesförändringar i södra Sverige.

Ett HVDC-system innehåller stora mängder komponenter som förutom att ge höga förluster medför sämre tillgänglighet än ett växelströmsalternativ. Det är starkt beroende av kraftsystemets dynamik och i synnerhet tiden. För att bedöma HVDC-alternativet måste man därför, på samma sätt som för AC-alternativet ovan, föra ett tidsberoende resonemang.

Tid=0 Ett 3-fasigt fel till jord inträffar på AC-ledningen mellan Ekhyddan och Nybro i närheten av samlingskenan i Nybro.

Tid=0–250 ms Felet ligger på i 250 ms, vilket är den feltid som en generator eller en HVDC-anläggning ska klara utan att kopplas från för att tillåtas anslutning till stamnätet.

Spänningen i Nybro sjunker till 0 kV under feltiden och ingen effekt kommer att passera 400/130 kV-transformatorn i Nybro eller genom HVDC-länken till Litauen. Eftersom förbrukningen är proportionell mot spänningen sjunker förbrukningsnivån i närheten av Nybro och försörjs via reservmatningsvägar inom det regionala



nätet, främst från Ekhyddan. Stora överbelastningar uppstår i det regionala nätet.

Under feltiden sjunker även spänningen i Ekhyddan mot 275 kV, vilket innebär att omriktarstationen blockeras. Ingen effekt matas in i HVDC-systemet och även omriktarstationen i Hemsjö blockeras. HVDC-systemet är därmed helt blockerat.

Omriktarstationen för NordBalt blockeras och beroende på om NordBalt importerar eller exporterar effekt uppstår ett underskott eller ett överskott på upp till 700 MW i det nordiska elkraftssystemet. Detta är ett allvarligt felfall men eftersom det är förutsägbart så finns momentan produktionskapacitet som börjar återställa frekvensavvikelsen.

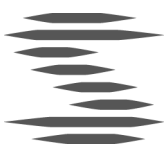
Tid=250 ms Felet kopplas automatiskt bort genom att reläskydden kopplar ur den felbehäftade ledningen mellan Ekhyddan och Nybro. Den enda stamnätskontakten mellan Ekhyddan och Nybro är HVDC-systemet, som inte är aktivt. Efter det att felet kopplats bort återställs effektmatningen till Nybro och dess regionnätstransformator ögonblickligen "bakvägen" från Hemsjö genom den fungerande 400 kV-ledningen. Spänningen är dock initialt låg, ca 377 kV, men stiger snabbt när SVC-anläggningarna i omriktarna känner att spänning finns i Nybro.

Tid=250–550 ms NordBalts och HVDC-systemets omriktarstation känner att spänningen i Nybro har återställts och börjar reglera mot sin tidigare driftpunkt. Tidsåtgången för denna process är ca 300 ms. Under denna tid sker även en motreglering i det nordiska produktionsystemet. Den ytterligare feltid (300 ms) som HVDC-systemet medför innebär att synkronismen i det regionala ledningssystemet inte kan upprätthållas, utan att systemet kommer att brytas upp.

Beskrivningen ovan visar att det inte är tekniken i sig själv som är problemet, utan var den appliceras i stamnätet. Att överlagra ett svagt regionalt system med ett starkt HVDC-system är mycket olämpligt när DC-systemets tidskonstanter beaktas.

Sammanfattning

Ett luftburet växelströmsalternativ har här jämförts med ett markförlagt likströmsalternativ. Slutsatsen är att HVDC-systemets ytterligare feltid (300 ms) medför att



synkronismen i det regionala ledningssystemet inte kan upprätthållas, utan att detta kommer att brytas upp.

Ett HVDC-system uppfyller därmed inte projektets huvudsakliga drivkraft, vilken är att säkerställa det regionala nätets funktion efter ett fel i stamnätet. HVDC-alternativet har därför avförts från vidare utredning.

De parametrar som bedöms i ett teknikval framgår av tabell 4.

	Växelströmsalternativ	Likström
Markåtgång (km ²)	7,7	3,9
Tillgänglighet (%)*	99,9	98,0*
Minskning av årliga energiförluster (GWh)**)	- 277	- 82**
Uppfyller drivkrafter***)	Ja	Nej
Schablonmässig kostnad för HVDC-systemet (mnkr)	1 320	12 694

Tabell4. Parametrar vid teknikval

*) Tillgängligheten inkluderar omriktarfel och årligt underhåll för DC-systemet. Likströmskabelfel ingår inte i siffrorna. Uppstår kabelfel kan avbrotstiden uppskattas till 1 – 2 veckor om material och personal finns tillgängligt. Under denna tid kan inte utbyten ske på NordBalt.

**) Omriktarstationer bidrar med höga förluster. Särskilt markant är detta när överföringsavstånden är så korta som i detta fall.

***) Huvudsaklig drivkraft för att säkerställa det regionala nätet efter ett fel i stamnätet.

