

2016-04-18

Ärendenr: 2012/1167

Version: 1.0

# En teknisk och ekonomisk jämförelse

Analys av olika tekniska utformningar för förbindelsen mellan Skogssäter - Stenkullen

# Innehåll

|  |    |
|--|----|
| Sammanfattning .....   | 5  |
| <br>   |    |
| 1 Bakgrund .....   | 6  |
| 1.1 Svenska kraftnät – en modern myndighet som använder moderna metoder.....   | 6  |
| 1.2 Stamnätets uppbyggnad.....   | 6  |
| 1.2.1 Ett starkt stamnät.....  | 9  |
| 1.3 Behovet av en ny ledning .....   | 9  |
| 1.3.1 Ett fritt handelsflöde .....   | 10 |
| 1.3.2 Det regionala elnätet .....  | 11 |
| 1.3.3 Renoveringsbehov av befintliga 400 kV-ledningar .....                    | 11 |
| 1.3.4 Avvecklingar i Ringhals kärnkraftverk.....                               | 11 |
| 1.3.5 Anslutning av förnyelsebar produktion .....                              | 12 |
| 1.3.6 Minskade överföringsförluster .....                                      | 12 |
| 1.4 Driftsäkerhet.....   | 12 |
| 1.5 Parallellbyggnad, sambyggnad och korsning .....                            | 13 |
| 1.5.1 Sambyggnad med stamnätsledningar i projekt Skogssäter – Stenkullen ..... | 14 |
| 1.5.2 Parallellbyggnad av luftledning med annan infrastruktur.....             | 15 |
| <br>   |    |
| 2 En teknisk jämförelse av alternativen .....                                  | 15 |
| 2.1 Växelströmsteknik och likströmsteknik .....                                | 15 |
| 2.1.1 Sammanfattande diskussion om valet av växelström .....                   | 17 |
| 2.2 Luftburen och markförlagd växelström.....                                  | 17 |
| 2.2.1 Stora effektförluster på längre sträckor .....                           | 18 |
| 2.2.2 Markkabelns driftsäkerhet och tekniska livslängd .....                   | 18 |
| 2.2.3 Sammanfattande diskussion om valet av luftledning.....                   | 19 |
| 2.3 Systemanalys av olika tekniska utformningar .....                          | 19 |
| 2.3.1 Antaganden inför systemutredningen .....                                 | 20 |
| 2.3.2 Nollalternativ .....   | 20 |
| 2.3.3 Förstärkning med växelströmsledning .....                                | 22 |
| 2.3.4 Förstärkning med markförlagda 400 kV- växelströmskablar .....            | 24 |
| 2.3.5 Förstärkning med markförlagd högspänd likström.....                      | 27 |
| 2.3.6 Sammanfattning av systemutredningen .....                                | 29 |

|       |  |           |
|-------|--|-----------|
| 3     | Samhällsekonomiska analyser.....   | 30        |
| 3.1   | <i>Bakgrund.....</i>   | <i>30</i> |
| 3.2   | <i>Övergripande analyser på svensk och europeisk nivå .....</i>            | <i>31</i> |
| 3.3   | <i>Markbehov för luftledning resp. markkabel.....</i>                      | <i>31</i> |
| 3.4   | <i>En ekonomisk jämförelse av luftledning och markkabel.....</i>           | <i>33</i> |
| 3.4.1 | <i>En sammanfattande kostnadsjämförelse.....</i>                           | <i>36</i> |
| 4     | Sammanfattande slutsatser av den tekniska och ekonomiska jämförelsen ..... | 38        |



## Sammanfattning

Svenska kraftnäts huvuduppdrag från regeringen (genom förordningen 2007:1119) är att på ett affärsmässigt sätt förvalta, driva och utveckla ett kostnadseffektivt, driftsäkert och miljöanpassat elöverföringssystem. Vidare ska Svenska kraftnät främja en öppen svensk, nordisk och europeisk elmarknad samt verka för en robust elförsörjning.

En ny ledning mellan Skogssäter och Stenkullen behövs för att stärka stamnätet i regionen så att de regionala näten inte överbelastas vid fel i stamnätet och orsakar allvarliga strömavbrott. Ledningen behövs också för att vidga den flaskhals i nätet som idag begränsar importen och exporten av el mellan Sverige, Norge och Danmark. Detta behov grundar sig i ett av Sveriges åtagande i EU, nämligen att bidra till goda förutsättningar för elhandel mellan medlemsländerna. Den nya förbindelsen möjliggör även nödvändiga reparationer på befintliga ledningar, fortsatt utbyggnad av vindkraftproduktionen samt tillgodoser ett kommande ökat överföringsbehov i regionen.

I denna rapport har olika tekniska utformningar jämförts, dels ur ett tekniskt perspektiv, dels ur ett samhällsekonomiskt perspektiv. Det primära skälet till att likströmsteknik inte är ett alternativ för denna förbindelse är att tekniken inte möjliggör förstärkning av inmatning till det regionala nätet – vilket är en av projektets viktiga drivkrafter. Dessutom försvåras anslutning av ny produktion avsevärt. Att gräva ned växelströmsförbindelsen medför att både tillgängligheten och driftsäkerheten blir betydligt sämre. Överföring med nedgrävd växelström medför även andra tekniska problem som presenteras i systemanalysen i denna rapport.

Den ökade kostnad som kabelalternativen skulle medföra har jämförts med det minskade markbehovet. Jämförelsen visar att den "extra" yta som tas i anspråk för en växelströmsluftledning måste värderas till mer än 38 miljoner kronor per hektar (!) för att en likströmskabel – om det vore tekniskt acceptabelt - ska kunna motiveras rent ekonomiskt. Det förtjänar dock att understrykas att anledningen till att det kabelförlagda växelströms- eller likströmsalternativet inte anses lämpligt av Svenska kraftnät är att det inte uppfyller drifttekniska krav samt att likströmslösningen inte kan stötta det regionala behovet att förstärka elmatningen till norra Göteborg. Både den tekniska och den ekonomiska jämförelsen av de olika utformningarna visar entydigt att luftledningsalternativet är det enda lämpliga alternativet för att uppfylla projektets drivkrafter och för att Svenska kraftnät ska uppfylla sitt regeringsuppdrag att utveckla ett kostnadseffektivt, driftsäkert och miljöanpassat elöverföringssystem.

# 1 Bakgrund

## 1.1 Svenska kraftnät – en modern myndighet som använder moderna metoder

Svenska kraftnät är ett statligt affärsverk med uppgift att förvalta och utveckla Sveriges stamnät för el. Stamnätet omfattar ledningar för 400 kV och 220 kV med stationer och utlandsförbindelser. Verket har också systemansvaret för el. Svenska kraftnäts huvuduppgift från regeringen (genom förordningen 2007:1119) är att på ett affärsmässigt sätt förvalta, driva och utveckla ett kostnadseffektivt, driftsäkert och miljöanpassat elöverföringssystem. Vidare ska Svenska kraftnät utöva systemansvaret för el kostnadseffektivt, främja en öppen svensk, nordisk och europeisk elmarknad samt verka för en robust elförsörjning. Detta innebär bland annat att vi inte tillåts ha några interna begränsningar för import eller export.

Att Svenska kraftnät är ett statligt affärsverk innebär att det inte finns några vinstintressen i vår verksamhet. De investeringar vi genomför, och som utgör en viktig del av Sveriges grundläggande infrastruktur, finansieras genom den nätavgift samtliga elanvändare betalar.

Vi bedriver och stöttar forskningsprojekt för att klara viktiga utmaningar för stamnätet för el, dammsäkerheten och möjliga risker i kraftsystemet. Vi både följer noggrant och är delaktiga i den tekniska utvecklingen av elöverföringsteknik. I de anläggningar vi bygger använder vi de tillbuds bästa tekniska lösningarna för att uppfylla vårt uppdrag om att tillhandahålla ett driftsäkert, miljövänligt och kostnadseffektivt stamnät. Större delen av vår forskning bedrivs i utvecklingsföretagen Energiforsk och STRI som Svenska kraftnät är delägare i. Vi stödjer också forskningsprojekt, doktorandprojekt och examensarbeten vid de tekniska högskolorna runt om i Sverige.

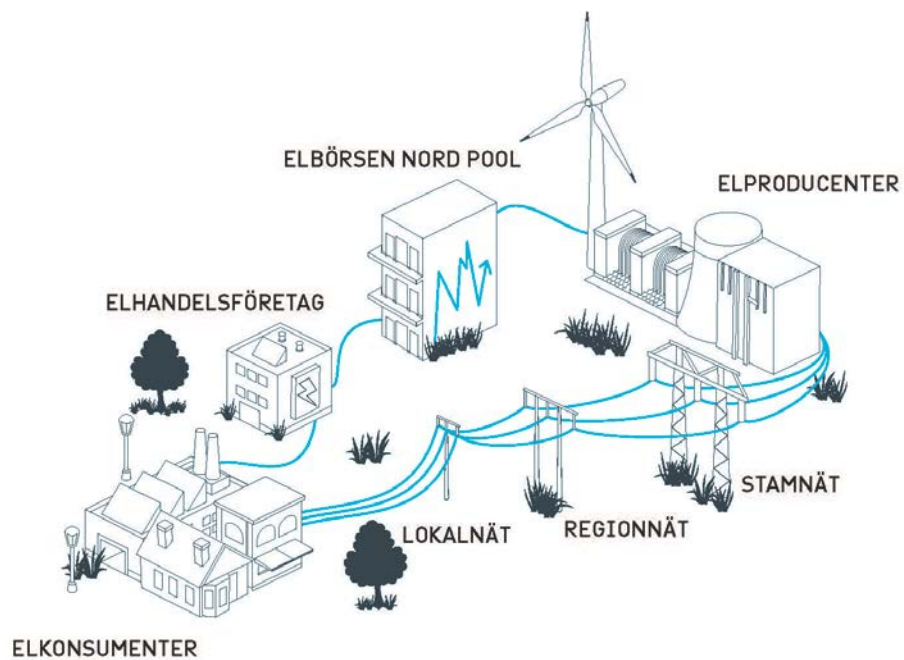
## 1.2 Stamnätets uppbyggnad

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 synkront<sup>1</sup>, vilket möjliggör en gemensam nordisk balans- och reservhållning, som är en förutsättning för en gemensam elmarknad se figur 3.1.

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

---

<sup>1</sup> Synkront innebär att systemen har samma frekvens



Figur 1.1 Elens väg från elproducenter till elkonsumenter.

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 för att möjliggöra både anslutning och överföring av de stora nya produktionsvolymerna samt för att klara anslutning av likströmsförbindelser till grannländerna och i enstaka fall även inom växelströmsnäten. Det svenska stamnätet med utlandsförbindelser och stamnätet i de nordiska grannländerna och Baltikum visas i figur 3.2.



Figur 1.2. De nordisk-baltiska stamnäten



### 1.2.1 Ett starkt stamnät

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 betydande reinvesteringsbehov. Stora delar av det Svenska stamnätet byggdes redan på 50-talet. Nu börjar många av våra anläggningar nå sin tekniska livslängd och behöver renoveras och moderniseras.

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). Med grund i Perspektivplan 2025 har Svenska kraftnät upprättat en tioårsplan där Svenska kraftnäts prioriteringar preciseras och utvecklas. Tioårsplanen ligger till grund för affärsverkets fortsatta investeringar och tjänar som grund för Svenska kraftnäts bidrag till nästa europeiska TYNDP.

[Tioårsplanen liksom Perspektivplan 2025 finns att läsa på vår webbplats](#)

Det är 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 frånkopplas vilket försvagar överföringssystemet. Styrkan i nätet är beroende av hur många ledningar som ansluter till stationerna 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.

## 1.3 Behovet av en ny ledning

En ny ledning mellan Skogssäter och Stenkullen behövs för att stärka stamnätet i regionen så att de regionala näten inte överbelastas vid fel i stamnätet. Ledningen behövs också för att vidga den flaskhals i nätet som idag begränsar importen och exporten av el mellan Sverige, Norge och Danmark. Detta behov grundar sig i ett av Sveriges åtagande i EU, nämligen att bidra till goda förutsättningar för elhandel mellan medlemsländerna. Behovet av ytterligare en stamnätsledning mellan Skogssäter och Stenkullen är tydlig i den systemanalys av kraftsystemet som gjorts, vilket presenteras närmare i kapitel 2.3.

Genom att bygga en ny 400 kV-ledning mellan stationerna Skogssäter och Stenkullen nås följande mål:

- Svenska kraftnät uppfyller sina åtaganden gentemot EU-kommissionen genom att skapa förutsättningar för ett fritt handelsflöde (se 1.3.1)
- Svenska kraftnäts kriterier för driftsäkerheten, att ett fel i stamnätet ska kunna hanteras utan konsekvens för slutkund, kan uppfyllas för stam- och regionnät (se 1.3.2)
- Lin- och stolpbyten på äldre parallella 400 kV-ledningar i området vars tekniska livslängd snart är uppnådd möjliggörs (se 1.3.3)
- Tillgodose ett kommande ökat överföringsbehov i regionen (se 1.3.4)
- En fortsatt utbyggnad av vindkraftproduktionen möjliggörs (se 1.3.5)
- Nätets överföringsförluster minskar (se 1.3.6)

I nedanstående avsnitt 1.3.1 till 1.3.4 följer en mer detaljerad beskrivning av de bakomliggande faktorerna till behovet av den nya ledningen.

### 1.3.1 Ett fritt handelsflöde

Den aktuella delen av stamnätet är i dagsläget så svag att den redan i normalläget begränsar möjligheten till elhandel med södra Norge och Danmark. Enligt EU-regler är det inte tillåtet att interna svagheter någonstans i ett lands stamnät får följder för ett fritt handelsflöde mellan länder.

Bakgrunden till detta är att Dansk Energi i början av 2000-talet lämnade in en anmälan till EU-kommissionen där man ansåg sig vara förfördelade av Svenska kraftnäts hanterande av elleveranser från Danmark till södra Norge genom det så kallade Haslesnittet (ledningarna Skogssäter – Halden och Borgvik – Hasle). Dansk Energi ansåg att Svenska kraftnät hanterade överlast, eller risk för överlast, i det interna svenska stamnätet genom att begränsa överföringen av dansk elenergi genom sydvästra Sverige. EU-kommissionen gjorde i juni 2009 en preliminär bedömning att Svenska kraftnäts hantering av interna begränsningar i det svenska stamnätet kan strida mot EU:s konkurrenslagstiftning. Svenska kraftnät delade inte kommissionens bedömning men i syfte att undanröja de betänkligheter som kommissionen gav uttryck för så erbjöd Svenska kraftnät frivilliga åtaganden och i oktober 2009 gjorde EU åtagandena bindande i rådets förordning.

Kärnan i Svenska kraftnäts åtaganden var att dela in den svenska elmarknaden i flera anmälningsområden till den nordiska elbörsen samt att förstärka det s.k. Västkustsnittet som utgörs av ledningssystemet mellan Strömma (i höjd med Lindome söder om

Göteborg), via Skogssäter upp till Borgvik (i höjd med Karlstad). Inga begränsningar i handeln med omvärlden ska därefter få ske.

Ett första steg i förstärkningsarbetet var att en ny 400 kV-ledning mellan Lindome och Stenkullen driftsattes år 2012. Ledningen innebar att det nu finns tre 400 kV-ledningar i nord-sydlig riktning söder om Stenkullen.

För att bygga bort de kvarstående begränsningarna i stamnätet och därmed uppfylla Svenska kraftnäts åtaganden mot EU-kommissionen behövs nu ytterligare en 400 kV-ledning mellan Skogssäter och Stenkullen.

### 1.3.2 Det regionala elnätet

Parallellt med stamnätet mellan Skogssäter och Stenkullen löper ett regionalt distributionssystem, eller elnät. Vid ett fel på någon av de två 400 kV-ledningarna överförs en stor mängd el till det regionala nätet. Under tider med höga effektlöden i nätet kan den el som överförs till det regionala systemet vid ett eventuellt fel bli så stor att det överbelastas och automatiskt kopplas från. Detta är en allvarlig händelse som leder till strömlöshet i stora delar av nätet, vilket kan påverka viktiga samhällsfunktioner.

### 1.3.3 Renoveringsbehov av befintliga 400 kV-ledningar

Stamnätet mellan Trollhättan i norr och Malmö i söder är till stora delar ålderstiget. Flera av ledningarna är byggda i mitten av femtio-talet vilket innebär att de är 60 år idag. Processtiden att ersätta en 400 kV-ledning eller bygga en ny överstiger 10 år varför den tekniska livslängden för stolpar och faslinor, som är 70 år, kan komma att överskridas. Svenska kraftnät har därför inlett ett reinvesteringsarbete för att byta ut de äldre ledningarna. Innan detta kan utföras behöver en ny ledning mellan Skogssäter och Stenkullen vara på plats. Skulle så inte vara fallet skulle systemet drivas med endast en 400-kV ledning i drift på västkusten under tiden för renoveringarna. I driftfasen innebär det att effektlödet måste anpassas till att även den enda 400 kV-ledningen kan falla bort vilket i sin tur innebär ett mycket högt elpris i södra Sverige då elbehovet till stora delar måste tillgodoses genom import från Danmark och Tyskland.

### 1.3.4 Avvecklingar i Ringhals kärnkraftverk

Sommaren 2015 meddelade Vattenfall AB att block 1 och block 2 i Ringhals kärnkraftverk kommer att avvecklas senast år 2020. Blocken har idag en sammanlagd produktionskapacitet på ca 2 000 MW och är en viktig produktionsresurs för elförbrukningen i hela västra och södra Sverige. Bortfallet av en lokal produktionskälla innebär att el måste överföras från andra produktionskällor, företrädesvis från svensk och norsk vattenkraft samt vindkraft. Det ökade behovet av överföring från icke lokala produkt-

ionskällor gör att betydelsen av en ny 400 kV-ledning på västkusten ökar i stor omfattning.

### 1.3.5 Anslutning av förnyelsebar produktion

Den nya ledningen behövs för att ta hand om ny vindkraft som planeras i Dalsland, Bohuslän och Västra Götaland. Ledningen möjliggör fortsatt utbyggnad av förnyelsebar produktion. Enligt ellagen är Svenska kraftnät skyldiga att ansluta ny eller ökad elproduktion till stamnätet om den inte kan anslutas till underliggande lokal- eller regionnät.

### 1.3.6 Minskade överföringsförluster

Resultatet av den nya ledningen är dessutom att överföringsförlusterna kommer att minska eftersom överföringsförlusterna minskar då ytterligare ledningar byggs. Ju mindre ström som överförs per ledning, desto mindre förluster. Förbindelsen mellan Skogssäter – Stenkullen innebär minskade överföringsförluster om cirka 52 GWh årligen.

## 1.4 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 från regeringen ingår att bygga och underhålla ett stamnät som uppfyller kravet på driftsäkerhet.

Under 2004 genomförde Nordel<sup>2</sup> 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 följderna 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. Det betyder att vilken godtycklig komponent som helst ska kunna kopplas

---

<sup>2</sup> Nordel är de nordiska ländernas samarbetsorgan för drift- och planeringsfrågor för stamnäten

från systemet 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 nytt fel.

Ett system som ska vara opåverkat av varje enskild händelse måste ges en robust utformning som är tålig mot störningar. För att åstadkomma en robust utformning och därmed 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, en ökad driftsäkerhet.

## 1.5 Parallellbyggnad, sambyggnad och korsning

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

Sambyggda ledningar innebär att en och samma stolpe används för två eller flera ledningar. Sådana lösningar efterfrågas ofta i syfte att minska markanvändningen. För sambyggnad i så kallade julgransstolpar blir ledningsgatan mindre, ca 35 meter istället för ca 44-50 meter som vanligen gäller för traditionella portalstolpar. Julgransstolpen blir däremot högre då faslinorna placeras ovanpå varandra i stället för bredvid varandra.

Innan beslut tas om en eventuell sambyggnad eller parallellbyggnad kan genomföras görs en teknisk analys för att utreda om ett fel skulle få oacceptabla konsekvenser på nationell nivå. 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

Driftsäkerheten styr med andra ord vilka beroenden som kan accepteras mellan olika komponenter i stamnätet. Exempel på beroenden som kan ge en oacceptabel nationell risk är parallellbyggnad eller sambyggnad av stamnätsledningar. Det beror på att stamnätet är byggt för att klara fränkoppling av en ledning eller annan komponent i

taget. En sambyggd eller parallellbyggd ledning kan leda till fränkoppling av två komponenter samtidigt, till exempel vid extrema väderförhållanden, skogsbränder eller stolpbrott.

Korsande ledningar utgörs av två ledningar där en passerar över den andra. Ofta efterfrågas sådana lösningar i syfte att minska antalet förvärv av permanentbostäder på grund av höga magnetfält. I vissa fall är det omöjligt eller olämpligt rent geografiskt att bygga nya ledningar utan att korsa befintliga. 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.

På samma sätt som för bedömningen om parallellbyggnad eller sambyggnad kan accepteras är det även i fallet med korsande ledningar driftsäkerheten som styr vilka beroenden som kan accepteras mellan olika komponenter i stamnätet.

### 1.5.1 Sambyggnad med stamnätsledningar i projekt Skogssäter – Stenkullen

Vid möten med markägare framgår att den allmänna uppfattningen är att det går två stycken 400 kV-ledningar mellan Skogssäter och Stenkullen. I själva verket är det bara en ledning som går mellan Skogssäter och Stenkullen. Den andra ledningen går mellan Horred i Halland och Borgvik i Värmland, via Kilanda, men löper parallellt med ledningen mellan Skogssäter och Stenkullen. En eventuell sambyggnad skulle alltså behöva ske med den befintliga ledningen mellan Skogssäter och Stenkullen, benämnd FL5 vilken är ledningen längst österut. Ledningen passerar idag ett antal befolkningstäta områden, däribland Gråbo i Lerum kommun som ledningen passerar rakt igenom. Svenska kraftnäts bedömning är att denna ledningsgata inte kan användas för en ny sambyggd förbindelse, dels av utrymmesskäl och dels p.g.a. påverkan från magnetfält. Ett stort antal bostäder skulle behöva förvärvas eller flyttas. Inom 115 meter från befintlig ledning finns idag cirka 300 hus.

Utöver de faktum att sambyggnation inte är möjlig på grund av driftsäkerhet och utrymmesskäl skulle den befintliga ledningen behöva rivas innan en ny sambyggd ledning kan byggas. Anledningen till det är att en sambyggd ledning kräver andra typer av stolpar. Det går inte att sambygga ledningarna med de befintliga portalstolparna. En systemanalys av en sådan bortkoppling visar att effekten då skulle överföras till det regionala nätet (precis som i fallet när en ledning skulle behöva renoveras innan den nya är på plats). I ett sådant driftläge kan ledningen mellan Horred och Kilanda eller mellan Kilanda och Borgvik komma att kopplas bort. Konsekvenserna av ett sådant

felfall är att ledningarna i området kan överbelastas och kopplas från och att området blir strömlöst. Samma scenario skulle inträffa om det skulle bli ett fel på den sambyggda ledningen.

Utifrån resonemanget ovan gör Svenska kraftnät bedömningen att en sambyggnad av 400 kV-ledningar mellan Stenkullen, Kilanda och Skogssäter inte är lämpligt.

### 1.5.2 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 de krav på säkerhetsavstånd mellan vägar och exempelvis kraftledningar som Trafikverket ställer, 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 medför att fler boendemiljöer påverkas, eftersom bostäder förekommer frekvent i närheten av vägar och järnväg.

## 2 En teknisk jämförelse av alternativen

### 2.1 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. Växelströmsnäten kan kompletteras med, men inte ersättas av, likströmsförbindelser. Att förstärka växelströmsnätet medför en flexibilitet för framtiden. Anslutning av ny produktion eller nya transformator-

stationer blir nämligen avsevärt enklare och kan göras till mycket lägre kostnader jämfört med om de skulle anslutas till ett likströmssystem.

Likström används för speciella kraftöverföringstillämpningar. Hit hör att överföra energi på långa avstånd mellan två punkter i ett kraftsystem, att knyta ihop inkompatibla kraftsystem (olika växelströmssystem som inte är synkrona med varandra) samt att möjliggöra överföring i sjökablar också på långa avstånd. Den grundläggande förutsättningen för att använda likström för att överföra stora energimängder över långa avstånd är att likströmsledningen kan anslutas till ett starkt växelströmsnät i båda ändarna.

Användningsområdena för likströmsöverföring är främst följande:

1. Elutbyte mellan olika länders elnät
2. Anslutning av havsbaserad produktion från t.ex. vindkraft
3. Utbyggnad av likströmssystem för överföring av höga effekter genom områden med överföringsbegränsning, utan påverkan på underliggande växelströmssystem, vilket är syftet med SydVästlänken som delvis är byggd med likströmsteknik

Svenska kraftnät använder idag likströmsteknik för anslutning av det svenska kraftsystemet till andra synkronområden (elnät med andra frekvenser) såsom Jylland, Tyskland 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.

I närtid kommer Svenska kraftnät att ta ytterligare två likströmsförbindelser i drift. Det är länken NordBalt mellan Nybro och Klaipeda i Litauen och SydVästlänken mellan Hallsberg och Hurva. SydVästlänken bygger delvis på likströmsteknik. Den innebär ett nytt steg i användningen av likströmsteknik, eftersom det är den första likströmslänk som löper parallellt med det befintliga växelströmssystemet. Förbindelsen ska möta behovet av att kunna överföra stora energimängder till elområde Malmö. 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.



### 2.1.1 Sammanfattande diskussion om valet av växelström

Eftersom stamnätet i övrigt består av ett växelströmsnät är det naturliga alternativet att bygga en växelströmsledning mellan stationerna Skogssäter och Stenkullen. Sammanfattningsvis måste växelströmstekniken användas för den nya ledningen mellan Skogssäter och Stenkullen för att uppnå projektets samtliga drivkrafter. Se tabell 1 nedan.

| Projektets drivkraft   | Kan likström uppfylla drivkraften? | Kommentar   |
|--|------------------------------------|---|
| Bygga bort flaskhalsen i nätet som begränsar import och export | Ja                                 |   |
| Förstärkning av region- och stamnät                            | Nej                                | Likström ger ingen förstärkning av inmatning till det regionala nätet                                 |
| Möjliggöra underhåll på gamla ledningar                        | Ja                                 |   |
| Tillgodose kommande ökat överföringsbehov                      | Ja                                 |   |
| Anslutning av förnybar energi                                  | Nej                                | Anslutning av produktion till en likströmsledning förväras avsevärt                                   |
| Minska överföringsförluster                                    | Ja/Nej                             | Överföringsförlusterna minskar, men stationsförlusterna medför att de totala stamnätsförlusterna ökar |

Tabell 1. Projektets drivkrafter och likströmsalternativet

## 2.2 Luftburen och markförlagd växelström

Utvärderingen av projektets drivkrafter visar enligt ovan att växelström måste väljas framför likström. Nästa fråga är att utreda om växelströmsförbindelsen ska byggas som en markkabel eller en luftledning.

### 2.2.1 Stora effektförluster på längre sträckor

Markkabel för 400 kV växelström är möjligt vid korta avstånd. Avståndet uppgår till cirka 15-20 km beroende av antalet kablar som ska användas. Den tekniska förklaringen till varför det uppstår problem med längre sträckor av nedgrävd växelström är att närheten mellan ledaren och nollpunkten i en kabel medför att det uppstår extrema fasförskjutningar mellan ström och spänning. Denna fasförskjutning 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 cirka 20 km behövs en kompenseringsstation för att korrigera fasförskjutningen. För en kabelförläggning mellan Skogssäter – Stenkullen skulle det innebära att fyra kompenseringsstationer måste byggas.

En kompenseringsstation är i princip ett ställverk med samlingsskenor och brytare. Till samlingsskenorna kopplas ett antal oljefyllda reaktorer som kompenserar för fasförskjutningen i förhållande till hur mycket effekt som överförs genom ledningen. Kompenseringsstationer byggs inom ett stängslat område om cirka 120 x 60 meter (ytan beror på nödvändig kompenseringsstation). För kompenseringsstationerna krävs bl.a. kylning och skyddsutrustning vilket innebär manöverhus samt ökad miljöpåverkan i form av oljegropar och brandskydd. Anläggningarna i sig medför ett ökat underhållsbehov samt större risk för att fel uppstår.

### 2.2.2 Markkabelns driftsäkerhet och tekniska livslängd

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. För sträckningen mellan Skogssäter och Stenkullen skulle ca 1000 skarvar krävas. Det stora antalet skarvar ökar risken för fel och när ett fel väl inträffar på en kabel tar det väsentligt längre tid att reparera felet än ett fel på en luftledning. Ett fel på en luftledning åtgärdas normalt inom åtta timmar, medan det inte är ovanligt att en kabelreparation kan ta upp till 730 timmar. 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.

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.

### 2.2.3 Sammanfattande diskussion om valet av luftledning

Sammanfattningsvis medför kabelalternativet att både tillgängligheten och driftsäkerheten blir betydligt sämre. Överföring med nedgrävd växelström medför även andra tekniska problem som presenteras i avsnitt 2.3.4. Utöver de tekniska orsakerna till varför Svenska kraftnät förordar ett luftledningsalternativ är luftledningsalternativet dessutom mer kostnadseffektivt, vilket beskrivs i avsnitt 3.4 nedan.

## 2.3 Systemanalys av olika tekniska utformningar

Under samrådsprocessen har det framkommit önskemål om att även markförlagda växel- och likströmsalternativ ska presenteras och jämföras med det luftburna växelströmsalternativet. Svenska kraftnät har valt att inte inkludera markkabelalternativ i samrådet eftersom dessa aldrig utgjort ett tekniskt eller ekonomiskt realistiskt alternativ. För att tydliggöra den tekniska analys som ligger bakom den bedömningen presenteras därför resultaten av en systemanalys i avsnitt 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4 och 2.3.5 nedan (kompletterar avsnitt 2.1 och 2.2 ovan).

De tekniska utformningar som har analyserats sammanfattas i korthet nedan.

- **Ett nollalternativ** dvs. att inte förstärka stamnätet mellan Skogssäter och Stenkullen innebär att strömavbrott kan uppstå både regionalt men även nationellt vid ett fel, vilket innebär att Svenska kraftnät inte kan leva upp till regeringsuppdraget
- **Alternativet förstärkning med luftburna växelströmsledningar** klarar vid fel att automatiskt återställa effekttransporterna i det regionala nätet till acceptabla nivåer för driftsäkerhet
- **Alternativet förstärkning med markförlagda växelströmskablar** klarar vid fel att automatiskt återställa effekttransporten i det regionala nätet men ger upphov till följdproblem på stamnätet. Alternativet uppfyller därmed inte drivkrafterna för projektet.

- **Ett alternativ med likström och markförlagda kablar** ger ingen förstärkning av inmatningen till det regionala nätet och uppfyller därmed inte projektets drivkrafter.

### 2.3.1 Antaganden inför systemutredningen

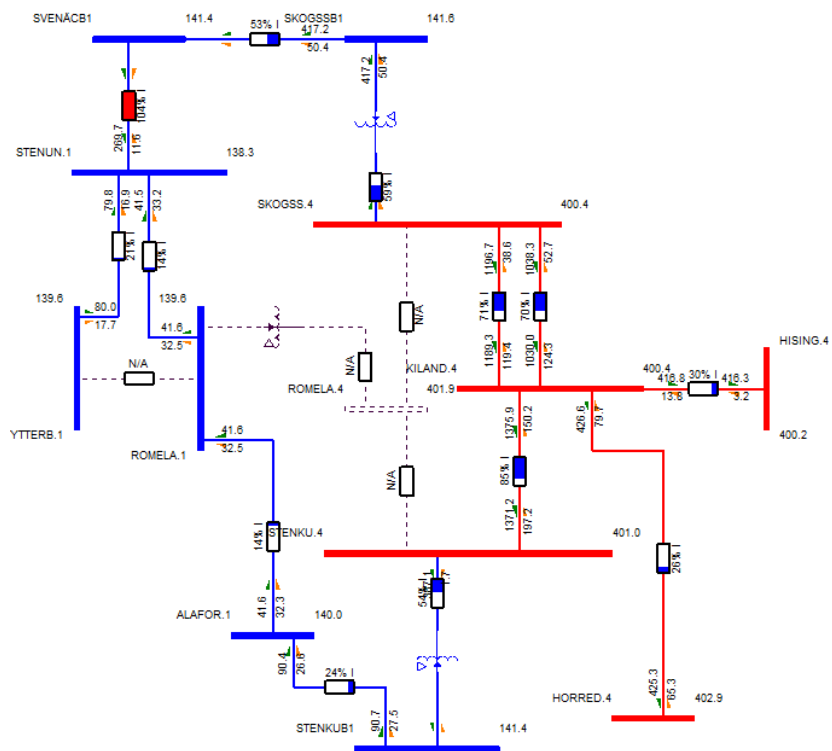
Systemutredningen har gjorts med förutsättningen att effektkapaciteten för export och import genom Haslesnippet (Norge) ligger kvar på nuvarande nivå. I den systemutredning som presenteras nedan har även avvecklingen i Ringhals block 1 och 2 inkluderats.

### 2.3.2 Nollalternativ

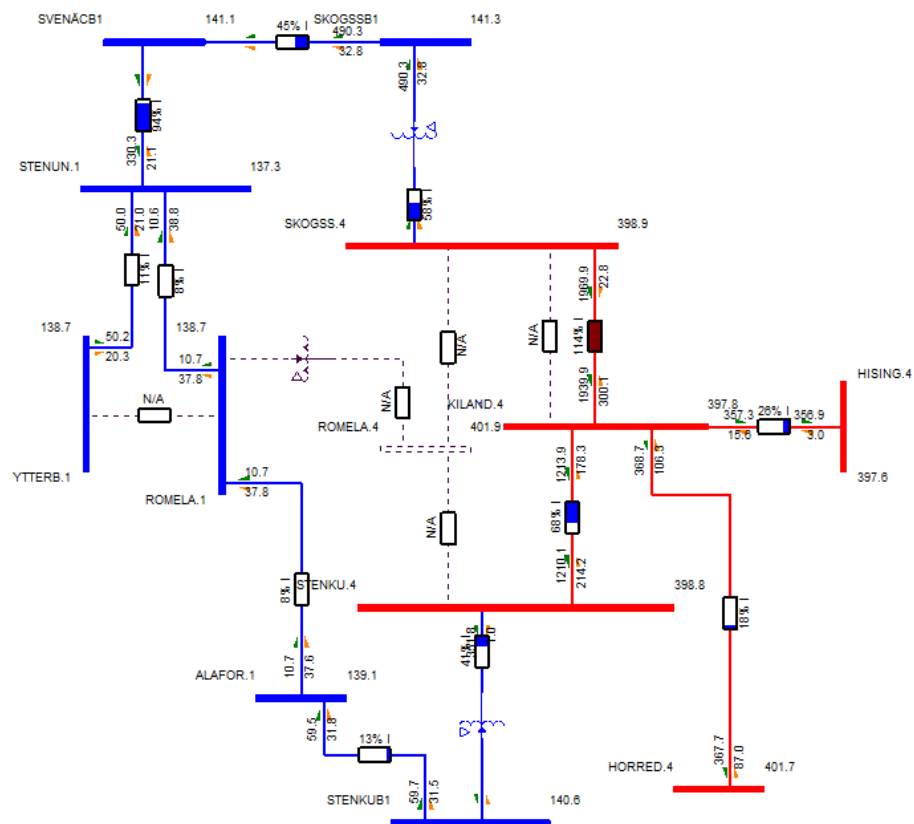
Utformningen av stam- och regionnät i området mellan Skogssäter och Stenkullen i utbyggnadsstadium 2020, det vill säga innan en ny ledning mellan Skogssäter och Stenkullen har tagits i drift, visas i normaldrift i Figur 1 nedan. Figuren visar även aktuella spänningar uttryckta i kV och aktiva/reaktiva effektlöden uttryckta i MW/Mvar. Slutligen visas även ledningarnas belastning i procent vid en omgivningstemperatur på 20°C. Belastningsfördelningen som visas baseras på ett scenario med hög överföring genom området. Överföringen kommer vara hög p.g.a. avvecklingen av block 1 och 2 i Ringhals kärnkraftverk.

Figur 1 visar att spänningarna i området är låga, marginellt över 400 kV, vilket försämrar driftsäkerheten. 130 kV-ledningen (blå) mellan Svenäcker och Stenungsund belastas 4 % över sin termiska normalmatningsgräns vilket inte är acceptabelt.

Konsekvensen av ett ledningsfel mellan Skogssäter och Kilanda i detta driftläge visas i Figur 2. Figuren visar att belastningen mellan Skogssäter och Stenkullen på den kvarvarande 400 kV-ledningen ökar till 14 % över dess reservmatningsgräns. Sammantaget så är denna driftsituation helt oacceptabel vilket visar att en förstärkning av stamnätet i området är nödvändig så snart som möjligt.



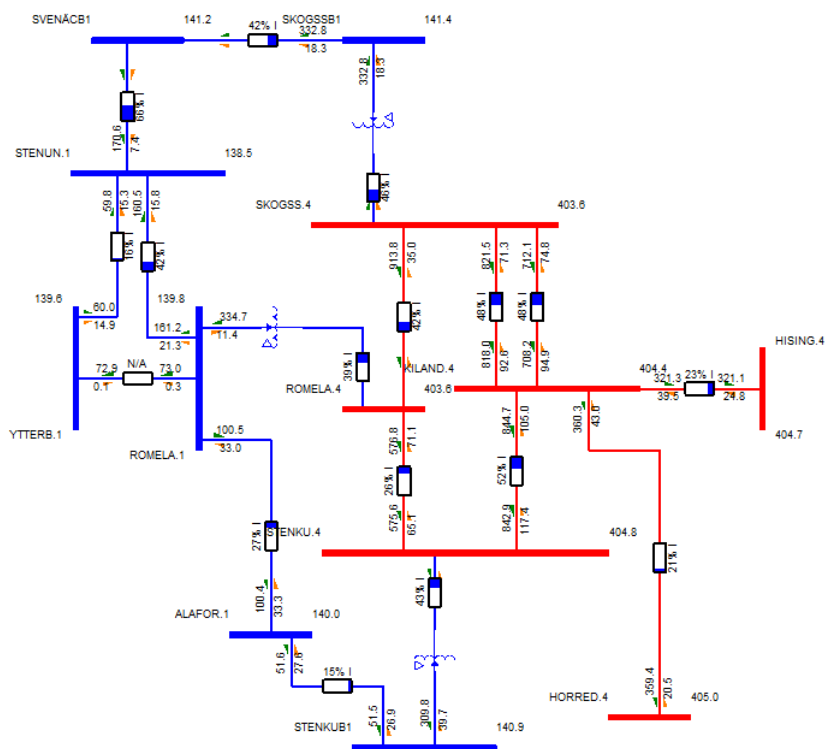
Figur 2.1. Överföringsystemet i normaldrift utan förstärkning i utbyggnadsstadium 2020 vid höglast.



Figur 2.2. Dimensionerande fel. Överföringssystemet i normaldrift utan förstärkning i utbyggnadsstadium 2020 vid höglast.

### 2.3.3 Förstärkning med växelströmsledning

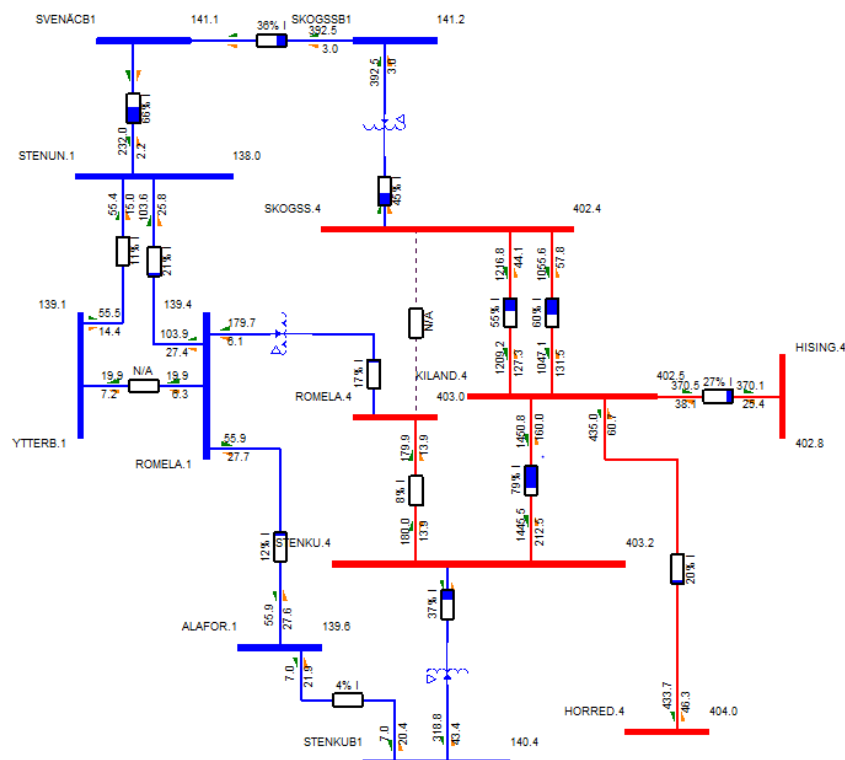
Stamnätet kan förstärkas genom att man bygger en ny luftburen 400 kV-växelströmsledning mellan Skogssäter och Stenkullen. Detta alternativ möjliggör också nya anslutningar av regionnätet till stamnätet. En sådan ny inmatning, som kan komma till stånd i området kring Romelanda, har lagts till den ursprungliga nät bilden och detta alternativ i normaldrift med hög överföring till Göteborgsregionen visas i Figur 3 nedan.



Figur 2.3. Överföringssystemet i normaldrift efter förstärkning med en 400 kV-växelströmsledning i utbyggnadsstadium 2021 vid höglast.

En ny 400 kV-luftledning mellan Skogssäter och Stenkullen ger ett överföringssystem med måttliga ledningsbelastningar och spänningar inom normalintervallet. Den nya ledningen tar på sig en effekttransport på drygt 900 MW vilket är 42 % av dess kapacitet. Överföringarna genom det regionala nätet minskar betydligt vilket i sin tur ger lägre energiförluster.

Dimensionerande felfall är ett bortfall av den nya 400 kV-ledningen mellan Skogssäter och den tänkbara nya uttagspunkten i Romelanda. Situationen efter ett fel visas i Figur 4 nedan. Figuren visar att ledningsbelastningar och spänningar är inom acceptabla nivåer. Detta alternativ är därför Svenska kraftnäts huvudalternativ.



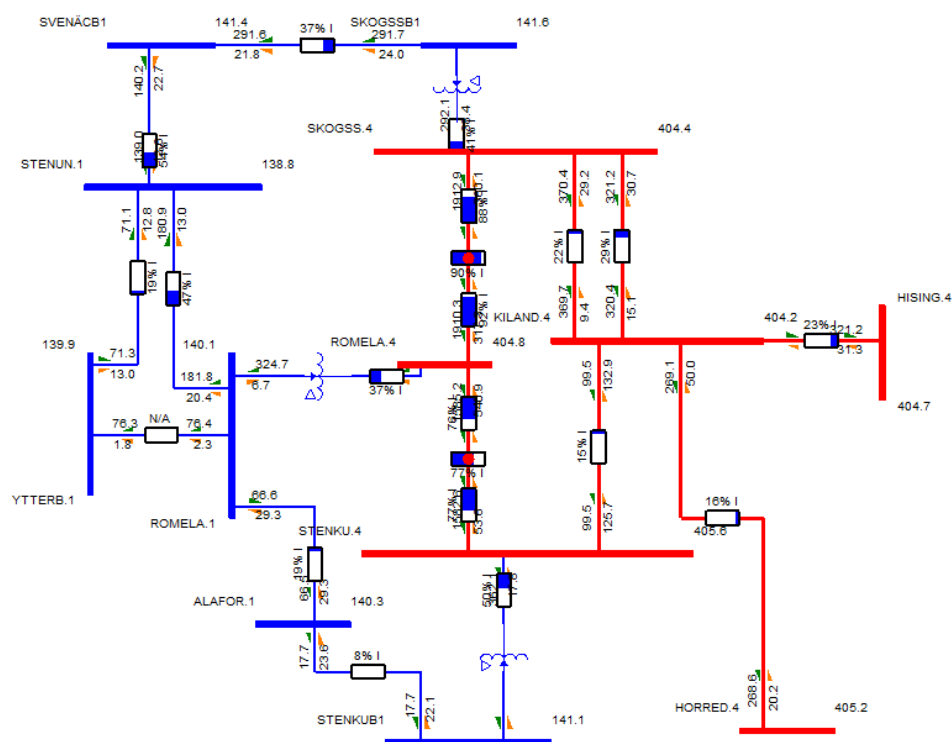
Figur 2.4. Dimensionerande fel. Överföringssystemet vid dimensionerande fel efter förstärkning med luftledning i utbyggnadsstadium 2020 vid höglast.

### 2.3.4 Förstärkning med markförlagda 400 kV-växelströmskablar

Som ett alternativ till en 400 kV-luftledning kan förbindelsen förläggas som 400 kV-markkablar. Som kabelalternativ väljs en utformning med tre stycken parallella kabelförband (totalt nio kablar) med en area på 2 500 mm<sup>2</sup> per kabel. En sådan utformning skulle innebära samma överföringskapacitet som luftledningen (2 100 MW). Även detta alternativ ger möjlighet till förstärkning av inmatningen till det regionala nätet. En ny inmatning i Romelanda har därför lagts till nät bilden och alternativet, i normaldrift under hög överföring, visas i Figur 5 nedan. Vad som inte syns i figuren är att fyra kompensationsstationer med en sammanlagd kapacitet på 2 300 Mvar har byggts längsmed ledningen för att konsumera den reaktiva effekt som kablarna genererar vid spänningssättning. I tillägg till dessa stationer har även ställverken i Skogssäter, Romelanda och Stenkullen byggts ut för att även där installera kompensationsutrustning.



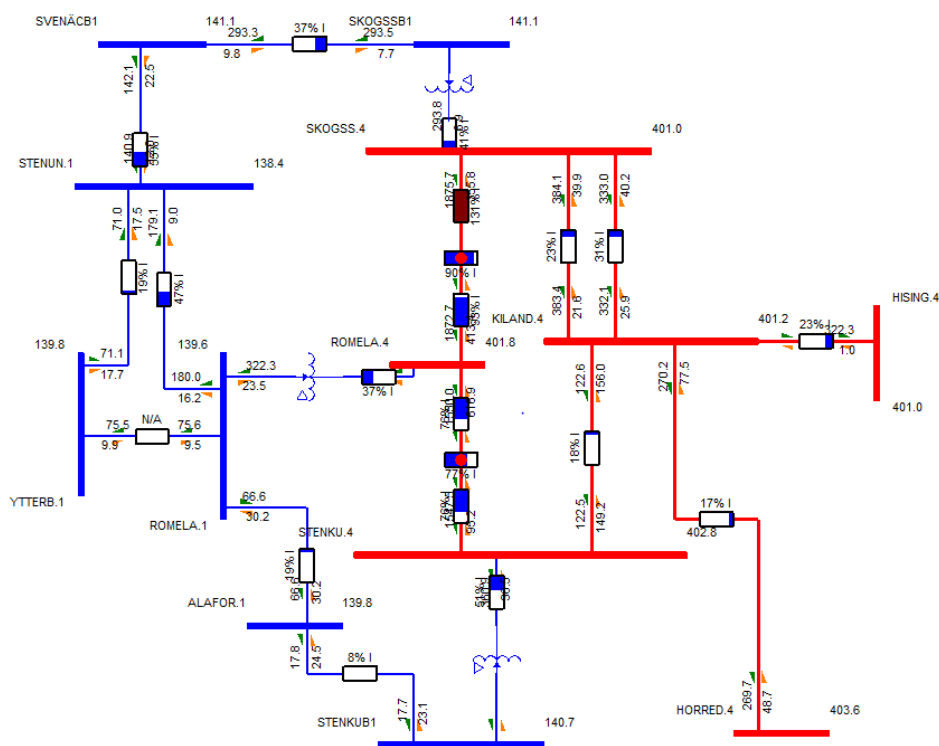
Kabelförbandet har ett lägre elektriskt motstånd än de parallella luftledningarna och kommer därför att överföra mer effekt. Som figuren visar, överför luftledningarna 700 MW och kabelförbandet 1 900 MW vilket belastar kabelförbandet till 90 % av sin termiska kapacitet. Av de 2 600 MW som transiteras söderut från Skogssäter kommer alltså ca 75 % att överföras på en av tre överföringskanaler vilket tydligt visar att om en växelströmskabelförbindelse förläggs parallellt med ett existerande luftledningsnät så innebär kabelförbindelsens karaktäristik att nätet snedbelastas och driftsäkerheten försämras. Överföringen på de två parallella luftledningarna sjunker till 25 % av dess kapacitet.



Figur 2.5. Överföringssystemet i normaldrift efter förstärkning med markförlagda 400 kV-växelströmskablar i utbyggnadsstadium 2020 vid höglast.

Dimensionerande felfall är ett kabelfel på en av de tre kabelgrupperna mellan Skogssäter och den första kompensationsstationen. Felfallet visas nedan i Figur 6.

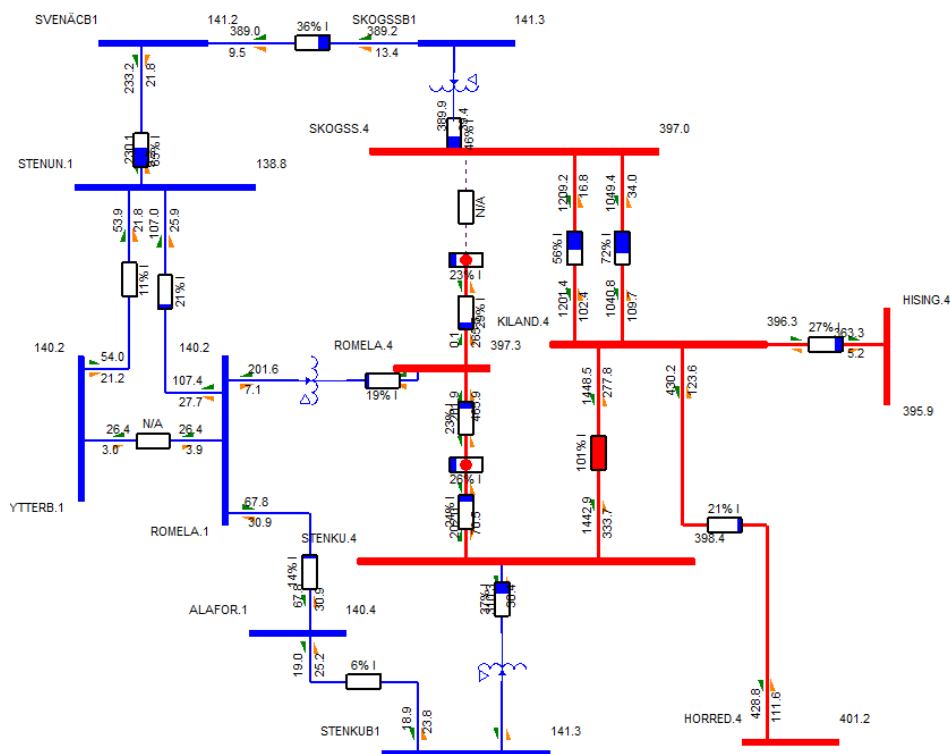
Figuren visar att de två återstående kabelförbanden mellan Skogssäter och den första kompensationsstationen belastas till 31 % över sin termiska kapacitet. Detta har två konsekvenser, dels måste koppar användas som ledarmaterial för att detta ska kunna accepteras över huvud taget, dels måste det vara möjligt av avlasta kabelförbanden innan kabeltemperaturen når 90°C. Eftersom belastningen av kabelförbandet innan fel är hög kan kabeltemperaturen öka till 90°C relativt snabbt. Kabelförbanden kan avlastas genom att produktionen i Norge minskas och produktionen i södra Sverige ökas, så kallad mothandel. Att avtala mothandel tar dock tid och det är troligt att även de två återstående kabelförbanden måste fränkopplas i Skogssäter.



Figur 2.6. Dimensionerande fel. Överföringssystemet vid dimensionerande kabelfel efter förstärkning med markförlagda 400 kV-växelströmskablar i utbyggnadsstadium 2020 vid höglast.

Efter att fränkoppling i Skogssäter har skett erhålls en belastningsfördelning som visas i Figur 7. Figuren visar att 400 kV-ledningen mellan Stenkullen och Kilanda belastas över sin reservmatningskapacitet vilket inte är acceptabelt. Överbelastningen beror delvis på att den reaktiva effekten från den tomgående kabeln överförs norrut. Ett 400

kV växelströmsalternativ förlagd i markkabel uppfyller alltså inte projektets drivkraft eftersom nätet fortsatt riskerar att överbelastas.



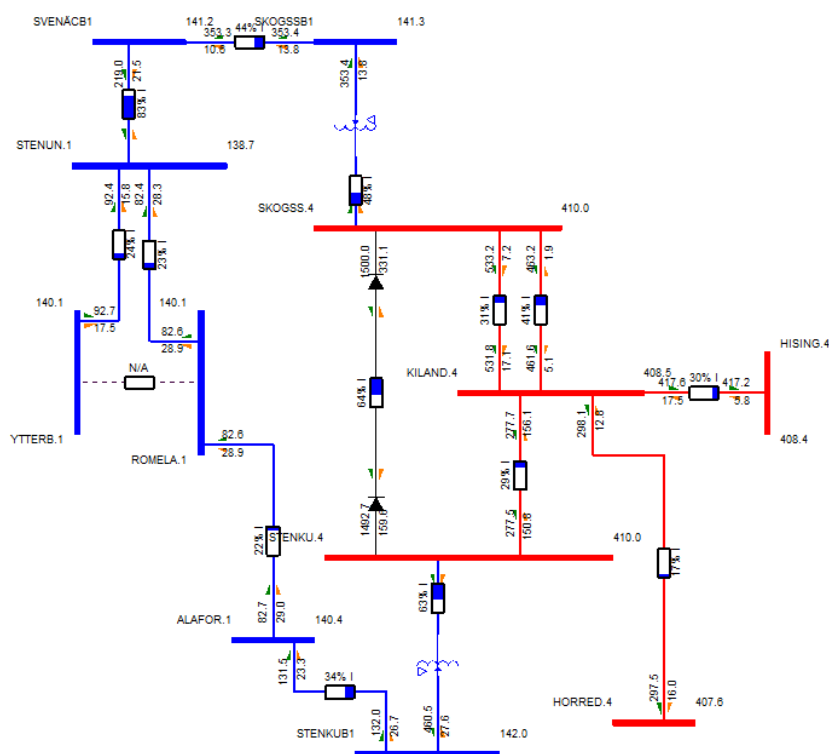
Figur 2.7. Dimensionerande fel. Nätbild efter det att samtliga kablar fränkopplats i Skogssäter.

### 2.3.5 Förstärkning med markförlagd högspänd likström

En förstärkning med markförlagd högspänd likström, så kallade HVDC<sup>3</sup>-kablar, är teoretiskt möjligt även om det har uppenbara nackdelar. Alternativet tillåter inte en förstärkning av det regionala nätet genom anslutning av nya inmatningsstationer och har en sämre driftsäkerhet på grund av att anläggningen måste tas ur drift för årligt underhåll av omriktarstationerna. För att möjliggöra årligt underhåll och tidskrävande åtgärder efter fel måste anläggningen delas upp i tre överföringskanaler som kan drivas oberoende av varandra. För att motsvara luftledningsalternativet så dimensioneras HVDC-förbandet som en 3 x 700 MW anläggning.

<sup>3</sup> HVDC är en förkortning för high voltage direct current, med andra ord högspänd likström

Alternativet i normaldrift visas i Figur 8 nedan och visar på bra spänningar och rimliga ledningseffekter.



Figur 2.8. Överföringssystemet i normaldrift efter förstärkning med markförlagda HVDC-kablar i utbyggnadsstadium 2020 vid höglast.

Dimensionerande felfall är bortfall av en av de tre HVDC-länkarna varefter de två kvarvarande styrs upp för att kompensera bortfallet.

Omriktarstationerna kan inte placeras i direkt anslutning till de befintliga ställverken i Skogssäter och Stenkullen p.g.a. den yta, ca 500 x 100 meter, som måste tas i anspråk. Därför måste en 400 kV-luftledning byggas från ställverken till en lämplig plats för omriktarstationerna.

Ett HVDC-system på denna plats i stamnätet kan inte anses som en integrerad del av detsamma då det endast förändrar sin funktion efter order från kontrollsystemet som styr det. I sin tur innebär detta att HVDC-systemet ständigt måste övervakas och manuellt ges nya direktiv vilket är problematiskt under störningsförlopp. HVDC-systemet

måste reagera korrekt och ögonblickligen på effektlödesförändringar i södra Sverige vilket inte är möjligt.

Ett HVDC-system innehåller stora mängder komponenter som förutom att ge höga förluster medför sämre tillgänglighet än ett växelströmsalternativ.

### 2.3.6 Sammanfattning av systemutredningen

Ett luftburet växelströmsalternativ har i systemutredningen jämförts med ett markförlagt växelströmsalternativ och ett markförlagt likströmsalternativ (HVDC). De parametrar som analyserats i systemutredningen framgår av tabell 2.

|   | Växelströms-<br>alternativ<br><br>Luft | Växelströms-<br>alternativ<br><br>Mark | Likströms-<br>alternativ<br><br>Mark |
|---|--|--|--------------------------------------|
| Tillgänglighet (%)*                         | 99,83                                  | 98,9                                   | 93,0*                                |
| Ej tillgänglig (h/år)                       | 1,4                                    | 737                                    | 207                                  |
| Minskning av årliga energiförluster (GWh)** | -52                                    | -81                                    | +256**                               |
| Uppfyller drivkrafter                       | Ja                                     | Nej                                    | Nej                                  |

Tabell 2. Parametrar som analyserats i systemutredningen

\*) Tillgängligheten inkluderar omriktarfel och årligt underhåll för likströmssystemet.

\*\*) Omriktarstationer bidrar med höga förluster. Särskilt markant är detta när överföringsavstånden är så korta som i detta fall. Dessutom ökar förlusterna i det regionala nätet.

Tabellen visar följande:

- Tillgängligheten för luftledningsalternativet är betydligt bättre beroende på antal felkällor i kabelalternativen och väsentligt längre reparationstider.
- Systemförlusterna minskar mest för ett markförlagt växelströmsalternativ men värdet av dessa är inte i närheten av kostnaden för att åstadkomma detta.
- Kabelalternativen uppfyller inte drivkrafterna bakom den nya förbindelsen varför de inte är intressanta för vidare studier

Systemutredningen visar tydligt att luftledningsalternativet är det enda lämpliga alternativet för att uppfylla projektets drivkrafter och för att Svenska kraftnät ska uppfylla regeringsuppdraget att utveckla ett driftsäkert elöverföringssystem.

## 3 Samhällsekonomiska analyser

### 3.1 Bakgrund

Vid informationsmöten och i yttranden har fastighetsägare, kommuner, länsstyrelser samt lantbruks- och skogsorganisationer frågat efter en tydligare motivering av vald teknik och jämförelse av kostnader och konsekvenser mellan växelström i luftledning och likström i markkabel. Man efterlyser analyser där investeringarna i den planerade ledningen jämförs med bortfall av de värden som bl.a. skogsbruket skulle ha inbringat under den tid som ledningen är i drift.

LRF och ett antal markägare har krävt en markförlagd likströmskabel, utifrån de större markintrång som måste göras om man bygger en växelströmsluftledning i enlighet med Svenska kraftnäts planer.

LRF anser det viktigt att minimera intrånget i jord- och skogsbruksmark och vill att Svenska kraftnät redovisar en samhällsekonomisk kalkyl där det framgår hur stora värden som går förlorade för samhället i form av jordbruk, skogsbruk, besöksnäring, natur- och friluftsliv m.m. där ledningen dras fram. I yttrandena efterlyser LRF en samhällsekonomisk analys där man tar in skogsproduktion/förädlings-värde, värdet av skogens koldioxidbindande förmåga, sysselsättningsperspektivet och landskapsbild. Man anser att en sådan kalkyl ska jämföra alla alternativ såsom sjökabel, markkabel och samförläggning med befintliga kraftledningar.

Som framgått av tidigare kapitel anser Svenska kraftnät att kabelalternativen är olämpliga med anledning av att de inte uppfyller drifttekniska krav samt att de inte kan stötta det regionala behovet att förstärka elmatningen till norra Göteborg. För att i någon mån ändå möta önskemålen om en bättre ekonomisk belysning redovisar Svenska kraftnät här en översiktlig kartläggning av vad fiktiva kabelalternativ skulle ha medfört för alternativa intrång och kostnader. I den koncessionsprövning som görs av Energimarknadsinspektionen bedöms den samhällsnytta som ledningen förväntas medföra och denna ställs mot de intrång och den påverkan som ledningen förorsakar.

## 3.2 Övergripande analyser på svensk och europeisk nivå

Svenska kraftnät gör samhällsekonomiska lönsamhetsbedömningar för byggande av stamnätsledningar. De görs i steg på vägen från idé till byggande, men med något skilda syften i olika delar av processen. När det finns behov av en investering i stamnätet påbörjas en nätutredning. Den identifierar de nätinvesteringar som mest kostnads-effektivt möter elsystemets och elmarknadens behov. Utredningen inkluderar en grov bedömning av miljökonsekvenser och intrångseffekter. Analysen ligger till grund för val mellan olika nätförstärkningsalternativ och för beslut om att gå vidare med fortsatt utredning om valda alternativ.

Om nätutredningen indikerar att en investering är värd att genomföras så görs en mer utförlig teknisk och ekonomisk analys av projektet i en teknisk förstudie. Syftet är att definiera anläggningens tekniska utformning och identifiera risker och hinder för byggnad. Analysen innefattar investeringskostnader, effekter på elsystemet och elmarknaden, markintrång, miljöpåverkan och teknikval. Ett exempel är valet mellan luftledning och markkabel, där det senare innebär avsevärt högre investerings- och underhållskostnader, som i vissa (sällsynta) fall kan vägas upp av minskade intrångseffekter.

Den tekniska förstudien ligger till grund för beslutsunderlag för aktuell beslutsfattare inom Svenska kraftnät. Styrelsen har tagit ett inriktningsbeslut den 7 maj 2012 att gå vidare med planerad 400 kV-luftledning Skogssäter – Stenkullen.

Ur ett samhällsekonomiskt perspektiv har ledningen även betydelse på EU-nivå. Den Europeiska kommissionen främjar en integration av Europas inre energimarknad för el, gas och olja, att säkra försörjningstryggheten för dessa energikällor samt att skapa förutsättningar för att energiinfrastrukturprojekt av gemensamt europeiskt intresse ska kunna genomföras.

## 3.3 Markbehov för luftledning resp. markkabel

Efter genomförda utredningar och samråd har Svenska kraftnät valt en förordad sträckning mellan Skogssäter och Stenkullen som är 73 km.

Markbehovet för ledningen varierar på olika delar av sträckan. Där ny mark tas i anspråk behöver ledningsgatans bredd vara ca 44 meter, vilket är aktuellt för ca 66 km av sträckan. Vid sambyggnad med en 130 kV-ledning behöver dagens ledningsgata breddas med ca 30 meter, vilket är aktuellt för ca 6 km av sträckan.

Av detta följer att den nya luftledningen kommer att uppta 3,1 km<sup>2</sup> ny mark.

Markkablar måste ta hänsyn till markens beskaffenhet. Det innebär att ledningssträckan ofta 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. För att få fram kabelsträckans slutgiltiga längd måste en framkomlighetsanalys göras, både avseende på markbeskaffenhet och andra hinder så som naturvärden, arkeologi och byggnader. En översiktlig bedömning visar dock att en tänkt markförlagd kabel med växel- eller likström längs sträckan Skogssäter – Stenkullen, utan anpassningar för framkomlighetshinder, skulle bli ca 73 km. I den jämförande analysen har vi därför utgått från att luftledningsalternativet och kabelalternativet är lika långa.

Skyddade naturområden kan påverkas i större grad än vid luftledning eftersom schaktning krävs längs hela ledningsförbindelsen. En luftledning påverkar främst skyddade områden vid själva stolpplaceringarna. För en markkabel krävs anläggning av byggvägar längs hela ledningssträckningen. Den totala markupplåtelsen för markkabel blir dock mindre än för luftledning. Efter byggtiden uppgår kabelgatans bredd till ca 20 m.

Av detta följer att en tänkt markkabel, efter byggskedet, skulle ianspråkta ca 1,5 km<sup>2</sup> mark. I likströmsexemplet bortses här helt från det markbehov om ca 100 x 500 meter som krävs för de två omriktarstationerna.





Bild 3.1. Omriktarstation för NordBalt under byggnad i Nybro.

### 3.4 En ekonomisk jämförelse av luftledning och markkabel

Grundläggande parameterar för en 400 kV växelströmsledning och hypotetiska kabelalternativ för likström respektive växelström framgår av tabell 3 och tabell 4 nedan. Kostnadsangivelserna är baserade på erfarenheter från projekten SydVästlänken och NordBalt, som innehåller växelströmsluftledning och likströmsmarkkabel.

| <b>AC-luftledning 3x910 AL59</b> |       |             |
|----------------------------------|-------|-------------|
|                                  |       | Enhet       |
| Termisk kapacitet                | 2 100 | MW          |
| Ledningslängd per trumma         | 2 000 | m           |
| Kostnad (ledningsentreprenad)    | 5,5   | Mnkr per km |

|   |           |                            |
|---|-----------|----------------------------|
| Kostnad (mark och tillstånd)                    | 1,1       | Mnkr per km                |
| Stationsåtgärder                                | 18        | Per anslutning och station |
| <b>HVDC – omriktare 2 100 MW</b>                |           |                            |
| Kostnad omriktare (6 stycken a 700 MW)          | 4 500     | Mnkr                       |
| Stationsyta                                     | 100 x 500 | m                          |
| <b>DC-markkabel 700 MW</b>                      |           |                            |
| Termisk kapacitet                               | 2 100     | MW                         |
| Ledningslängd per trumma                        | 1 047     | m                          |
| Kostnad   | 25,5      | Mnkr per km                |
| Kostnad (mark och tillstånd)                    | 1,0       | Mnkr per km                |
| <b>AC-markkabel 3 x 2 500 mm<sup>2</sup> Cu</b> |           |                            |
| Termisk kapacitet                               | 2 100     | MW                         |
| Ledningslängd per trumma                        | 700       | m                          |
| Kostnad   | 58,5      | Mnkr per km                |
| Kostnad (mark och tillstånd)                    | 0,65      | Mnkr per km                |

Tabell 3. Grundläggande kostnadsparametrar.

| Skogssäter – Stenkullen 73 km      |               |             |
|------------------------------------|---------------|-------------|
| AC-luftledning 3x910 AL59          |               |             |
|                                    |               | Enhet       |
| Termisk kapacitet                  | 2 100         | MW          |
| Längd                              | 73            | km          |
| Kostnad (lednings<br>entreprenad)  | 402           | Mnkr        |
| Kostnad (mark och<br>tillstånd)    | 80            | Mnkr        |
| Anslutningskostnad                 | 65            | Mnkr        |
| <b>Total kostnad</b>               | <b>547</b>    | <b>Mnkr</b> |
| Skogssäter – Stenkullen 73 km      |               |             |
| HVDC – omriktare 700 MW            |               |             |
| Kostnad sex styck-<br>en omriktare | 4 500         | Mnkr        |
| Stationsyta                        | 100 x 500/stn | m           |
| DC-markkabel 700 MW                |               |             |
| Termisk kapacitet                  | 2 100         | MW          |
| Kostnad (kabel<br>entreprenad)     | 2 048         | Mnkr        |
| Kostnad (mark och                  | 53            | Mnkr        |

|  |              |             |
|--|--------------|-------------|
| tillstånd)   |              |             |
| Kostnad (stations-<br>åtgärder)  | 69           | Mnkr        |
| <b>Total kostnad,<br/>omriktare och<br/>DC-markkabel</b>                                 | <b>6 670</b> | <b>Mnkr</b> |
|  |              |             |
| <b>Skogssäter – Stenkullen 73 km</b><br><b>AC- markkabel 3 x 2 500 mm<sup>2</sup> Cu</b> |              |             |
|  |              | Enhet       |
| Termisk kapacitet  | 2 100        | MW          |
| Längd  | 73           | km          |
| Kostnad (lednings<br>entreprenad)  | 4 687        | Mnkr        |
| Kostnad (mark och<br>tillstånd)  | 53           | Mnkr        |
| Anslutningskostnad   | 108          | Mnkr        |
| <b>Total kostnad</b>   | <b>4 425</b> | <b>Mnkr</b> |

Tabell 4. Projektrelaterade kostnader Skogssäter – Stenkullen.

### 3.4.1 En sammanfattande kostnadsjämförelse

Kabelalternativen innebär som tidigare nämnt sämre tillgänglighet, vilket i sig innebär kostnader. Dessa kostnader har dock inte uppskattats och ingår följaktligen inte i jämförelsen. En ytterligare merkostnad för likströmskabelalternativet, som inte heller beaktats i denna jämförelse, är en faktisk ökning av de beräknade årliga energiförlusterna (-75 GWh mot +256 GWh). Framtida anslutningar av förnybar elproduktion skulle också bli dyrare eftersom likströmsledningen minskar möjligheten att på ett effektivt sätt ansluta förnybar elproduktion.

I tabell 5 sammanfattas de olika ledningsalternativen. Tabellen avser hela sträckan från Skogssäter till Stenkullen. Kabelsträckan skulle behöva anpassas efter vissa säkerhetsavstånd, vägområdenas bredd o.s.v. Ökat markbehov för sådana anpassningar har inte inkluderats.

| Exempel                                  | Genomsnittlig längd (km) | Del av total-längd (%) | Genomsnittlig bredd ny lednings-gata (m) | Yta ny lednings-gata (km <sup>2</sup> ) | Genomsnittlig bredd under byggtid (m) | Yta ny lednings-gata under byggtiden (m <sup>2</sup> ) | Kostnad (mnkr i 2015 års prisnivå) |
|--|--------------------------|------------------------|--|---|---------------------------------------|--|------------------------------------|
| Luftledning parallell med 130 kV-ledning | 8                        | 11                     | 30                                       | 0,24                                    | 30                                    | 0,24   |                                    |
| Luftledning ny lednings-gata             | 65                       | 89                     | 44                                       | 2,86                                    | 50                                    | 3,25   |                                    |
| Summa luftledning                        | 73                       | 100,0                  | 42,5                                     | 3,1                                     | –                                     | 3,49   | <b>547</b>                         |
| Markkabel bredvid väg (AC)               | 73                       | 100,0                  | 20                                       | 1,5                                     | 35                                    | 2,63   | <b>4 425</b>                       |
| Markkabel bredvid väg (DC)               | 73                       | 100,0                  | 20                                       | 1,5                                     | 35                                    | 2,63   | <b>6 678</b>                       |

Tabell 5. Jämförelse mellan luftledning och markkabel Skogssäter – Stenkullen.

Denna mycket översiktliga jämförelse visar att en markkabel skulle kunna minska markintränet från 3,1 till 1,5 km<sup>2</sup>. Det är en minskning med 1,6 km<sup>2</sup>, vilket motsvarar 160 hektar. Samtidigt ökar kostnaderna för ett likströmsalternativ med mer än sex miljarder kronor och för ett växelströmskabelalternativ till mer än 4 miljarder kronor.

Den "extra" yta som tas i anspråk för en växelströmsluftledning och som påverkar bl.a. jord- och skogsbruk, besöksnäring samt natur- och friluftsliv måste således värderas till mer än 38 miljoner kronor per hektar (!) för att en likströmskabel – om den uppfyllt projektets drivkrafter – ska kunna försvaras rent ekonomiskt.

## 4 Sammanfattande slutsatser av den tekniska och ekonomiska jämförelsen

De parametrar som bedöms i ett teknikval framgår av tabell 6.

|   | Växelströms-<br>alternativ | Växelströms-<br>alternativ | Likströms-<br>alternativ |
|---|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
|   | Luft                       | Mark                       | Mark                     |
| Markåtgång (km <sup>2</sup> )                 | 3,1                        | 1,5                        | 1,5                      |
| Tillgänglighet (%)*)                          | 99,83                      | 98,9                       | 93,0*                    |
| Ej tillgänglig (h/år)                         | 1,4                        | 737                        | 207                      |
| Minskning av årliga energiförluster (GWh)**)  | -52                        | -81                        | +256**                   |
| Uppfyller drivkrafter                         | Ja                         | Nej                        | Nej                      |
| Schablonmässig kostnad för alternativen (mnr) | 547                        | 4 425                      | 6 670                    |

Tabell 6. Parametrar vid teknikval

\*) Tillgängligheten inkluderar omriktarfel och årligt underhåll för likströmssystemet.

\*\*\*) Omriktarstationer bidrar med höga förluster. Särskilt markant är detta när överföringsavstånden är så korta som i detta fall. Dessutom ökar förlusterna i det regionala nätet.

Slutsatserna från den tekniska och ekonomiska jämförelsen är:

- Luftledningsalternativet tar dubbelt så mycket mark i anspråk, 1,5 km<sup>2</sup>
- Kostnaden för kabelalternativen är 4-6 mnr högre än för luftledning
- Tillgängligheten för luftledningsalternativet är betydligt bättre beroende på antal felkällor i kabelalternativen och väsentligt längre reparationstider.

- Systemförlusterna minskar mest för ett markförlagt växelströmsalternativ men värdet av dessa är inte i närheten av kostnaden för att åstadkomma detta.
- Kabelalternativen uppfyller inte drivkrafterna bakom den nya förbindelsen varför de inte är intressanta för vidare studier

Tabellen visar entydigt att luftledningsalternativet är det enda lämpliga alternativet för att uppfylla projektets drivkrafter och för att Svenska kraftnät ska uppfylla sitt regeringsuppdrag att utveckla ett kostnadseffektivt, driftsäkert och miljöanpassat elöverföringssystem. Det förtjänar att understrykas att anledningen till att det kabelförlagda växelströms- eller likströmsalternativet inte anses lämpligt av Svenska kraftnät är att det inte uppfyller drifttekniska krav samt att likströmslösningen inte kan stötta det regionala behovet att förstärka elmatningen till norra Göteborg. En markkabel skulle ha betydligt sämre driftsäkerhet och tillgänglighet. Den lägre tillgängligheten omfattar kabelfel, omriktarfel och avställning av likströmssystemet för årligt underhåll.