

National Library
of Sweden

Denna bok digitaliserades på Kungl. biblioteket år 2012

STATENS OFFENTLIGA UTREDNINGAR 1923:50
KOMMUNIKATIONSDEPARTEMENTET

REDEGØRELSE

FRA DET AF DE DANSKE, NORSKE OG SVENSKE KRAFTOVERFØRINGSKOMMISSIONER NEDSATTE ELEKTROTEKNISKE UDVALG

ANGAAENDE

ELEKTRISK KRAFTOVERFØRING FRA NORGE TIL DANMARK

STOCKHOLM
1923

Statens offentliga utredningar 1923

Kronologisk förteckning

1. Betänkande med förslag angående magistraternas befriande i visst avseende från ansvar för kronouppbörden m. m. Norstedt. 57 s. **Fi.**
2. Förslag till lag om lösdrivares behandling m. fl. författningar. Del 5 av fattigvårdslagstiftningskommitténs betänkanden. Palmquist. xj, 423 s. **S.**
3. Spannmålsmarknadssakkunnigas betänkande. Norstedt. 41 s. **Jo.**
4. Betänkande med förslag till lag om församlingsstyrelse samt till bestämmelser om folkskoleärendenas överflyttning från den kyrkliga till den borgerliga kommunen m. m. Palmquist. vj, 304 s. **E.**
5. Skolkommissionens betänkande. 5. Organisatoriska och ekonomiska utredningar. Norstedt. 236 s. **E.**
6. Utredning angående vissa spörsmål rörande städernas domstolsväsen. Av N. Herlitz. Norstedt. 164 s. **Ju.**
7. Statens ställning till järnvägarna i olika främmande länder. Av A. Lilienberg. Tullberg. 411 s. **K.**
8. Folkomröstningskommitténs utredningar angående referendum i främmande länder. 4. Folkomröstningsinstitutet i Nordamerikas förenta stater. Av H. Tingsten. Tullberg. iv, 399 s. **Ju.**
9. Förslag till strafflag, allmänna delen, samt förslag till lag angående villkorlig frigivning jämte motiv. Marcus. xiij, 534 s. **Ju.**
10. Folkomröstningskommitténs utredningar angående referendum i främmande länder. 3. Folkomröstningsinstitutet i den schweiziska demokratien, dess förutsättningar, former och funktioner. Av A. Brusewitz. Tullberg. 381 s. **Ju.**
11. Utredning rörande ombyggnad av Strömsholms kanal samt utsträckning av kanalen från Smedjebacken till Ludvika. Meddelande från Kungl. Kanalkommissionen. Nr 5. Hæggström. 133 s. 2 kart. **K.**
12. Betänkande och förslag angående det ecklesiastika arrendeväsendet. Beckman. xij, 239 s. **E.**
13. Vägkommissionens betänkanden. 4. Förslag till lag om enskilda vägar m. m. Marcus. 147 s. **K.**
14. Betänkande med förslag till avtal rörande Stockholms bangårdsfråga. Beckman. 46 s. 10 kart. **K.**
15—17. Försvarsrevisionens betänkande. 3. Betänkande och förslag rörande revision av Sveriges försvarsväsende. Del 1. Inledande avdelning, lantförsvaret. vij, 661 s. Del 2. Sjöförsvaret, sammanfattning av revisionens förslag, särskilda yttranden. (2), 741 s. Del 3. Bilagor. (2), 90, 33, 28, 19, 53, 85, 4, 30, 2, 48, 30, 36, 6 s. Beckman. **Fö.**
18. Kommunalförfattningssakkunnigas betänkande 4 med förslag till lag om landsting m. m. Beckman. 235 s. **S.**
19. Betänkande angående decisiv folkomröstning, avgivet av folkomröstningskommittén. Tullberg. 40 s. **Ju.**
20. Folkomröstningskommitténs utredningar angående referendum i främmande länder. 5. Folkomröstningsinstitutet utanför Schweiz och Förenta staterna. Tullberg. 71 s. **Ju.**
21. Betänkande angående ordnandet av Stockholms förortsbanefråga. Blom. 126 s. 11 kart. **K.**
22. Betänkande och förslag i fråga om kvinnors tillträde till statstjänster. 3. Kvinnas behörighet att innehava prästerlig och annan kyrklig tjänst. Marcus. 51 s. **Ju.**
23. Betänkande med förslag till lag om ändring i vissa delar av lagen den 25 maj 1894 angående jordfästning m. m. Norstedt. 56 s. **Ju.**
24. Kungl. Elektrifieringskommitténs meddelanden. 6. Utredning angående lämpliga distributionssystem för landsbygdselektrifiering. Beckman. viij, 192 s. **Jo.**
25. Inventering av odlingsjord längs Inlandsbanan från Ströms södra sockengräns till Storuman. Tullberg. 30 s. 2 kart. **Jo.**
26. 1921 års pensionskommittés betänkande. 2. Betänkande angående avveckling av den stärbhus efter präst tillförsäkrade förmånen av tjänst- och nådår samt beredande i sammanhang därmed av förbättrad pensionering från prästerskapets änke- och pupillkassa. Tullberg. 100 s. **E.**
27. Underdånigt betänkande med förslag till lönereglering för befattningshavare i domsagorna m. m. Beckman. 85 s. **Ju.**
28. Underdånigt betänkande med förslag till förordning angående tillverkning av brännvin m. m. Blom. 67 s. **Fi.**
29—30. Den industriella demokratiens problem. 1. Betänkande jämte förslag till lag om driftsnämnder. 240 s. 2. Den industriella demokratien i utlandet. 267 s. Tullberg. **S.**
31. Tull- och traktatkommitténs utredningar och betänkanden. 18. Den svenska mekaniska verkstadsindustriens utveckling intill krigsutbrottet. Av E. Linder. Tullberg. iv, 435 s. **Fi.**
32. Tull- och traktatkommitténs utredningar och betänkanden. 19. Sveriges bryggeriindustri. Av A. Lilienberg. Tullberg. iv, 40 s. **Fi.**
33. Tull- och traktatkommitténs utredningar och betänkanden. 20. Garveriindustriens produktionsförhållanden. Av W. Smith. Marcus. iv, 175 s. **Fi.**
34. Tull- och traktatkommitténs utredningar och betänkanden. 21. Kvalitetsfrågan hos det svenska vetet. Av H. Nilsson-Ehle. Marcus. 16 s. **Fi.**
35. Samorganisation av riksdagsbiblioteket och den centrala statsförvaltningen i bok- och biblioteksavseende. Av V. Gödel. Marcus. 54 s. **Fi.**
36. Betänkande och förslag rörande förvaring av förminskat tillräkneliga förbrytare jämte förslag rörande internering av farliga återfallsförbrytare. Lund, Berling. 116 s. **Ju.**
37. Tull- och traktatkommitténs utredningar och betänkanden. 22. Översiktstabeller angående den svenska industriens utveckling 1891—1920 jämte anmärkningar. Marcus. iv, 147 s. **Fi.**
38. Efterskrift till Om röstsammanräkning vid kommunala val enligt lagarna den 9 juni 1922. Av E. v. Heidenstam. Beckman. (s. 53—61). **S.**
39. Om röstsammanräkning vid kommunala val enligt lagarna den 9 juni 1922. Av E. von Heidenstam. Andra upplagan. Med efterskrift. Beckman. (4), 61 s. **S.**
40. Jordkommissionens betänkande. 6. Om sociala arrendebestämmelser, avlösning av arrendejordbruk, förekommande av vanhävd, upphävande av fideikommiss i fast egendom, anskaffande av tomtmark till bostäder m. m. Marcus. 505 s. **Ju.**
41. Skolkommissionens betänkande. 6. Om rätt för clever, utexaminerade från statens högre läraranneseminarium, att vinna inträde vid universitet och där avlägga examen samt om folkskollärares fortbildning i vetenskapligt avseende. Norstedt. 63 s. **E.**
42. Lagerhus- och kylhuskommitténs betänkande. 2. Lagerhusväsendet i Sverige och därmed sammanhängande förhållanden. Norstedt. viij, 300 s. **Jo.**
43. Förslag till tullstadga jämte motivering. Norstedt. (2), 134 s. **Fi.**
44. Tull- och traktatkommitténs utredningar och betänkanden. 23. De svenska järn- och metallmanufakturindustriernas utveckling med särskild hänsyn till förhållandena vid tiden närmast före världskrigets utbrott. Av G. Delling. Tullberg. iv, 196 s. **Fi.**
45. Tull- och traktatkommitténs utredningar och betänkanden. 24. Undersökning angående jordegendomsvärdenas utveckling i Sverige och vissa främmande länder. Av K. Amark. Marcus. iv, 93 s. **Fi.**
46. Sammandrag av yttranden över stadsplanelagskommitténs betänkande med förslag till stadsplanelag och författningar som därmed hava samband samt bostadskommissionens betänkande med förslag till byggnadsstadga. Palmquist. 367 s. **Ju.**
47. Kommunikationsverkens lönekommitté. 5. Betänkande angående beredande av semester åt viss icke-ordinarie personal i statens tjänst. Fahlcrantz. 49 s. **K.**
48. Anvisningar rörande vissa åtgärder för möjliggörande av ökad spannmålsbelåning från jordbrukarnas sida. Norstedt. 43 s. **Jo.**
49. Statens ställning till järnvägarna i Sverige med särskild hänsyn till inlösningsfrågan. Av A. Lilienberg. Tullberg. vj, 268 s. **K.**
50. Redegørelse fra det av de danske, norske og svenske Kraftoverføringskommissioner nedsatte elektrotekniske Udvalg angaaende elektrisk Kraftoverføring fra Norge til Danmark. København, Jørgensen & C:o. 135 s. **K.**

Anm. Om särskild tryckort ej angives, är tryckorten Stockholm. Bokstäverna med fetstil utgöra begynnelsebokstäverna till det departement, under vilket utredningen avgivits, t. ex. **E.** = ecklesiastikdepartementet, **Jo.** = jordbruksdepartementet. Enligt kungörelsen den 3 febr. 1922 ang. statens offentliga utredningars yttre anordning (nr 98) utgivas utredningarna i omslag med enhetlig färg för varje departement.

REDEGØRELSE

FRA DET AF DE DANSKE, NORSKE OG SVENSKE KRAFTOVER-FØRINGSKOMMISSIONER NEDSATTE ELEKTROTEKNISKE UDVALG

ANGAAENDE

ELEKTRISK KRAFTOVERFØRING FRA NORGE TIL DANMARK

J. JØRGENSEN & CO. * IVAR JANTZEN

FORORD

Ved de danske, norske og svenske Kraftoverføringskommissioners Møde i Kristiania den 19.—20. August 1921 nedsattes et elektroteknisk Udvalg, bestaaende af to Ingeniører fra hvert Land, nemlig:

Fra Danmark:	Direktør A. R. Angelo og
	Professor William Rung,
Fra Norge:	Ingeniør Eivind Hanssen og
	Ingeniør Jacob Prebensen Nissen,
Fra Sverige:	Overdirektør W. Borgquist og
	Overingeniør Sten Velander,

med den Opgave, nærmere at undersøge de forskellige Muligheder for elektrisk Kraftoverføring fra Norge til Danmark og Bekostningen derved, paa Grundlag af det Forbrug, som fremtidig kan ventes i Danmark.

Dette Udvalg afholdt sit første Møde i Kristiania i umiddelbar Tilslutning til Kommissionernes ovennævnte Møde og konstituerede sig herved med Direktør Angelo som Formand. I nogle af Udvalgets Møder har deltaget den danske Kommissions tekniske Sekretær Ingeniør G. E. Hartz.

Udvalget har derefter holdt følgende Møder:

26.—27. Sept. 1921 i København	18.—24. April 1922 i Kristiania
24.—25. Okt. » i Stockholm	25.—26. Aug. » i Stockholm
24.—25. Jan. 1922 i Trollhättan	28. Nov.—
13.—18. Marts » i Stockholm	2. Dec. » i København.

Endvidere har Udvalget i Dagene fra 16.—18. Nov. 1921 besigtiget Højspændings-Jævnstrømsanlægget Moutiers—Lyon.

Paa Grundlag af de ved Møderne stedfundne Forhandlinger og Drøftelser samt de foretagne Undersøgelser og Beregninger har Udvalget affattet efterfølgende Redegørelse. Udarbejdelsen af de til denne hørende Bilag, som er vedhæftet, er fordelt mellem Udvalgets Medlemmer fra de tre Lande paa følgende Maade:

DANMARK

Bilag 1. Undersøgelser vedrørende Danmarks fremtidige Elektricitetsforbrug.
Bilag 2. Kraftoverføring ved Hjælp af højspændt Jævnstrøm.

NORGE

Bilag 3. Beskrivelse av og omkostningsoverslag for transformator- og koblingsstationer for trefaseoverføringen.
Bilag 4. Luftledning over Øresund.
Bilag 5. Undersøgelser vedrørende korona ved Trefaseoverføringen.

SVERIGE

Bilag 6. Fasförskjutning, spänningsreglering och förluster vid trefasalternativen.
Bilag 7. Normer och utförande samt kostnader för kraftledningarna.

UDVALGETS REDEGØRELSE

Elektricitetsforbruget i Danmark.

Det første Led i Udvalgets Opgave har været en Undersøgelse af Størrelsen af det fremtidige Elektricitetsforbrug i Danmark, se nærmere Bilag 1.

Denne Undersøgelse er foretaget efter en Række indhentede Oplysninger om Størrelsen af det nuværende Elektricitetsforbrug paa de forskellige Tider af Døgnet og Aaret, saavel i Byerne som paa Landet. Paa Grundlag af statistiske Oplysninger om Befolkningens Størrelse, Agerjordens Størrelse og Industriens Kraftbehov m. v. i Landets forskellige Dele, er derefter beregnet Størrelsen af det hele Elektricitetsforbrug som kan ventes, naar — formentlig i Løbet af 10—15 Aar — praktisk talt al Belysning og Drivkraft i Danmark er overgaaet til at foregaa ved Elektricitet — dog ikke Jærnbanedriften.

Størrelsen af dette Elektricitetsforbrug andrager ca. 500 Mill. kWh aarlig med et fælles Maximum paa ca. 157,000 kW, altsaa med en Benyttelsestid paa ca. 3200 Timer. At udføre Anlæg for Aftagelse af hele denne Effektmængde fra Norge kan sikkert ikke betale sig paa Grund af den nævnte forholdsvis korte Benyttelsestid. Derimod er der, som de følgende Undersøgelser vil vise, Mulighed for, at man kan naa til med Fordel at kunne aftage en Del deraf, svarende til en Benyttelsestid paa ca. 6500 Timer. Denne Del andrager efter de foretagne Undersøgelser ca. 63,000 kW.

Vil man paabegynde en Kraftoverføring fra Norge inden nævnte Tidsrum af 10—15 Aar er forløbet, vil det være rigtigt til en Begyndelse at regne med lavere Kraftbeløb, og Udvalget mener derfor, at det først udbyggede Anlæg, omfattende hele Landet, passende kan baseres paa en Effekt = $^2/_3$ af det

nævnte Beløb, altsaa ca. 42,000 kW leveret ved nedennævnte 5 Forbrugscentrer i Danmark.

Fordelt paa disse Forbrugscentrer stiller dette Effektforbrug sig saaledes:

København og Frederiksberg (leveret ved København)	15,000	kW
Sjælland, Lolland, Falster do. do.	8,000	»
Fyen (leveret ved Odense)	4,000	»
Nordjylland (leveret ved Aalborg)	5,000	»
Midtjylland (leveret ved Aarhus)	5,000	»
Sydjylland (leveret ved Kolding)	5,000	»
	42,000	kW

Paa Grundlag heraf er de følgende Projekter og Beregninger udført. Udvalget har dog samtidig bestræbt sig for at angive saavel, hvorledes mindre Effektmængder kan aftages ved gradvis Udbygning af Anlægene, som hvorledes Anlægene senere kan udvides til Overføring af større Effektbeløb — ogsaa udover de nævnte 63,000 kW, hvis Udviklingen skulde gøre dette ønskeligt.

Forskellige Muligheder for Kraftoverføringsanlægets Udførelse.

Der findes i Hovedsagen 3 Veje ad hvilke den elektriske Kraft fra Norge kan tænkes overført til Danmark, nemlig:

1. Ved undersøiske Kabler under Skagerak til Jylland og videre til Fyen og Sjælland.
2. Ved Luftledninger gennem Sverige og Kabler under Kattegat over Læsø til Jylland og videre til Fyen og Sjælland.
3. Ved Luftledninger gennem Sverige og Kabler under eller Luftledning over Øresund til Sjælland og videre til Fyen og Jylland.

Til disse forskellige Muligheder bemærkes følgende:

Ad. 1. Da Dybden i Skagerak er meget stor, op til 600 m, og da Afstanden fra Kyst til Kyst ligeledes er meget stor for et saadant Anlæg, ca. 130 km,

samt da Søen i Reglen er urolig, kan man ikke gøre Regning paa at kunne udføre et Kabelanlæg her ved Samling paa Stedet af et større Antal kortere Længder. Der kan derfor kun blive Tale om at anvende Enlederkabler, idet disse kan leveres i en enkelt lang eller, højt regnet, i nogle faa store Længder fra Fabriken. Kablerne kan tænkes benyttet enten for Vekselstrøm eller Jævnstrøm, dog mener Udvalget at Tanken om førstnævnte Strømart maa opgives, dels af Hensyn til de mange krydsende og paralleltløbende Svagstrømskabler, dels paa Grund af den relativt lave Spænding, ca. 50 kV, til hvilken man, paa Kabelteknikkens nuværende Standpunkt, ved trefaset Strøm maatte begrænse sig. Tilbage bliver altsaa, for et Kabelanlæg under Skagerak, kun Anvendelsen af Jævnstrøm.

Ad. 2. For et Kabelanlæg under Kattegat gælder noget lignende som foran er sagt om et Kabelanlæg under Skagerak (omend i mindre Grad), hvorfor man ligeledes her kun tør paaregne at kunne benytte Enlederkabler og Jævnstrøm. Et Blik paa Kortet viser imidlertid, at en Ledning som føres ad denne Vej kun med Fordel kan anvendes til Forsyning af Jylland og Fyen, medens Sjælland maa forsynes over Helsingborg. Men selv for de to førstnævnte Landsdele bliver Strømtilførsel over Helsingborg fordelagtigere end over Læsø, idet Søkablerne bliver kortere, samtidig med at Fordelingsnettet i Danmark bliver simplere. Man kan derfor helt se bort fra Tanken om at benytte Vejen om Læsø.

Ad. 3. Et Kabelanlæg under Øresund kan efter de foreliggende Erfaringer paaregnes at kunne udføres saavel med Enleder som med Treledersøkabler. Ligeledes tør man gaa ud fra, at tilsvarende Anlæg kan udføres under de forskellige Bælter og Sunde indenfor Danmarks eget Omraade, og der foreligger saaledes her Muligheden for saavel at anvende Jævnstrøm som Vekselstrøm. Desuden viser Undersøgelsen, at Øresund kan krydses med Luftledning Nord for Helsingør—Helsingborg, saaledes at man derved har Mulighed for at indskrænke de undersøiske Kabelanlæg til alene at anbringes mellem Sjælland, Fyen og Jylland.

Af det foregaaende ses det altsaa, at der foreligger følgende 4 nærmere specificerede Alternativer for Kraftoverføringsanlægets Udførelse.

Alt. A. Jævnstrømsanlæg med Kabel under Skagerak.
Alt. B. Jævnstrømsanlæg med Luftledning gennem Sverige.

Alt. C. Vekselstrømsanlæg med Luftledning gennem Sverige og Kabel under Øresund.

Alt. D. Vekselstrømsanlæg med Luftledning gennem Sverige og Luftledning over Øresund.

Udvalget har udført Projekter og Beregninger over hver af disse 4 Alternativer og skal i Hovedsagen gengive disse i det følgende.

A. Jævnstrømsanlæg med Kabel under Skagerak.

Vedrørende dette Anlæg henvises til den nærmere Beskrivelse m, m. i Bilag 2.

Ledningsanlægget er vist paa vedføjede Kort A. Elektriciteten tænkes leveret fra et Vandkraftanlæg i Sydnorge, som udbygges særlig med det Formaal, at levere højspændt Jævnstrøm af indtil 2×110 kV Spænding med jordet Midtpunkt, hvilken Spænding Udvalget anser for den højeste, som man paa nærværende Tidspunkt tør regne at kunne anvende i Kabler og Maskiner.

Kraftanlægget regnes beliggende ca. 80 km fra den norske Kyst, hvor der, efter Opgivelse fra norsk Side, haves rigelig ubenyttet Vandkraft til Raadighed.

Søkablerne gaar fra den norske Kyst, i Nærheden af Kristiansand, til Jyllands Kyst, omtrent ved Bulbjerg. Limfjorden passeres ved Aggersund, og herfra føres Ledningen ad korteste Vej til et Punkt i Nærheden af Aarhus, hvor der indrettes en Omformerstation for den Del af Effekten, 19,000 kW, som i Følge forannævnte Opstilling forbruges i Jylland og paa Fyen. Fra Aarhus føres Ledningen videre over Hou, Samsø, Refsnæs til et Punkt i Nærheden af København, hvor der indrettes en Omformerstation for Resten af Effekten, nemlig 23,000 kW, som forbruges paa Sjælland og Lolland—Falster.

I Omformerstationerne, af hvilke den ved Aarhus udstyres med 5 Omformere à 6 MVA Vekselstrøm, og den ved København med 5 Omformere à 7 MVA Vekselstrøm, omsættes Jævnstrømmen til trefaset Vekselstrøm 50 Perioder 6—10 kV Spænding. Den Del af Effekten, som fra Omformerstationerne skal fordeles videre til de foran nævnte fjærnere liggende Forbrugscentrer i Danmark, optransformeres til 50 kV, hvilken Spænding er passende egnet til Elektricitetens Fordeling over de Afstande, hvorom der er

Tale, ligesom den kan regnes at ville tillade Anvendelsen af Land- og Søkabler i direkte Forbindelse med Luftledningerne, altsaa uden Transformering.

Jævnstrømsledningerne fra Norge udføres som Luftledninger paa Jærnmaster med Hængeisolatorer (9—10 Stk. pr. Kæde), ganske som de under Alt. C og D nævnte Vekselstrømsledninger for 132 kV, for alle Landledningers Vedkommende saavel i Norge som i Danmark. Søkablerne under Skagerak og Kattegat (Samsøbælt) udføres som profiltraadarmerede Enleder-Blykabler med 16—20 mm Isolation. De enkelte Ledere saavel i Luftledningerne som i Kablerne gøres 185 mm² Kobber (for Luftledningernes Vedkommende dog mulig af ækvivalent Tværsnit af Staal-Aluminium), idet denne Dimension viser sig at være den fordelagtigste under de foreliggende Forhold.

For at opnaa en bekvem direkte Telefonforbindelse mellem Kraftstationen i Norge og Omformerstationerne i Danmark udlægges et Svagstrømskabel med 4 Korer parallelt med Stærkstrømskablerne under Skagerak.

Vekselstrømsledningerne, 50 kV fra Omformerstationerne til de forskellige Forbrugscentrer i Danmark, udføres som Luftledninger paa Jærnmaster med Hængeisolatorer (4—5 pr. Kæde) for alle Landledningers Vedkommende, medens Søkabelstrækningen under Lillebælt udføres som profiltraadarmerede Treleder-Blykabel med 12—15 mm Isolation. Dimensionerne af 50 kV-Ledningerne er angivet i Tabel A og deres Udstrækning paa Kortet, paa hvilket tillige er indtegnet (punkteret) de for Tiden bestaaende samt de efter Skøn yderligere nødvendige 50 kV-Ledninger til Effektens Fordeling indenfor de forskellige Forbrugscentrers Omraader.

Til Fasekompensering og Regulering af Spændingen paa 50 kV-Ledningsnettet i Jylland og Fyen opsættes Synkronmotorer i Ledningsnettets Hovedpunkter.

Paa vedføjede Skema A samt tilhørende Tabel A er givet en Oversigt med Beregninger over Anlæget paa forskellige Udbygningstrin, for hvilke de medgaaende Kapitaler, regnet fra Kraftstationen i Norge (men exclusive denne) til Forbrugscentrerne i Danmark, ses at være følgende:

Ia . . .	23,5 Mill. Kr. dansk	III	49,6 Mill. Kr. dansk
Ib . . .	28,2 » » »	IV	51,9 » » »
Ic . . .	28,2 » » »	V	84,2 » » »

Af disse Udbygningstrin svarer III til Overføring af ca. 42,000 kW til Forbrugscentrerne i Danmark. Anlæget bestaar i denne Skikkelse af: 3 Stk.

Enkeltledere, 185 mm², Omformerstationer ved Aarhus og København samt 50 kV Vekselstrømsledninger til Fordelingscentrerne i Jylland og Fyen. Den ene af de 3 Jævnstrømsledere tjener som Reserve for de to andre (Yderledere), men ligger forøvrig normalt parallelt med en af disse. Som Nulleder benyttes Jorden (Havet).

Ved Udbygningstrin Ia, Ib og Ic omfatter Anlægene kun Omformerstationen i Aarhus og de derfra udgaaende Ledninger til Forsyningen af Jylland og Fyen, ialt med 19,000 kW, leveret ved de forskellige Forbrugscentrer.

Disse Trin er medtaget som mulige Stadier under Udbygningen, idet de kræver Anvendelsen af en væsentlig mindre Kapital end den som medgaar til hele Anlæget. Dog kan Trin Ia næppe anbefales til Anvendelse udover den Tid som anses for nødvendig som Prøvetid, da det kun omfatter en enkelt Leder og saaledes ikke indeholder nogen Reserve.

I Tilfælde I a og I b tænkes »Jorden« (Havet) benyttet som normal Tilbageledning for Strømmen, idet anstillede Undersøgelser har vist, at de herved opstaaende Spændingsdifferencer og Strømme i Havet efter al Sandsynlighed ikke kan antages at have skadelig Indflydelse paa Svagstrømsanlæg og Navigering. I Tilfælde Ic er derimod hver af de to Ledere benyttet som strømførende for sin Pol og Jorden kun forudsat som Reserve. Selvfølgelig forøges Tabene i Ledningerne herved betydeligt.

Udbygningstrin IV er medtaget som den Grænse, hvortil Jævnstrømsanlægets Overføringsevne kan bringes, hvis de Forventninger gaar i Opfyldelse, som Driftslederen af de besigtigede Anlæg Moutiers—Lyon, hos hvem Udvalgets danske og norske Medlemmer har søgt indgaaende Oplysninger, mener man kan knytte til Jævnstrømssystemet i Henseende til Muligheden for en senere Forøgelse af Spændingen til ca. 2×140 kV. Den til Forbrugscentrerne i Danmark overførte Effekt stiger herved til ca. 53,000 kW.

Udbygningstrin V svarer til en Fordobling af Anlæget under Trin IV, idet hver af Omformerstationerne i Aarhus og København forsynes gennem sin selvstændige Ledning fra Norge med en fælles Leder som Reserve.

Betalingen for Effekten, leveret fra Kraftstationen i Norge, er her, som i det følgende, eksempelvis regnet til 100 Kr. norsk pr. kW. Endvidere er 1 Kr. norsk regnet lig 80 Øre dansk, svarende til den ved Tidspunktet for Paabegyndelsen af denne Redegørelse gældende Kurs.

Som Resultat af Tabellen fremgaar, at Prisen pr. kW-Aar, henført til Forbrugscentrerne i Danmark ved de forskellige Udbygningstrin, stiller sig paa følgende Maade:

I a	234 Kr. dansk pr. kW-Aar	III	224 Kr. dansk pr. kW-Aar
I b	252 » » » »	IV	202 » » » »
I c	266 » » » »	V	180 » » » »

Af disse Priser er det navnlig den under III anførte, Kr. 224, som danner Grundlag for Udvalgets Bedømmelse af Anlæget i økonomisk Henseende, hvorom nærmere nedenfor.

B. Jævnstrømsanlæg med Luftledning gennem Sverige.

Vedrørende dette Anlæg henvises til den nærmere Beskrivelse m. m. i Bilag 2.

Ledningsanlæget er vist paa vedføjede Kort B. Elektriciteten er beregnet leveret fra Kraftstationen ved Nore eller et andet i Forhold til Danmark ikke fjærntliggende Vandkraftanlæg i Norge. Dette forsynes, som foran nævnt, med særlige Generatorer til Levering af højspændt Jævnstrøm af indtil 2×110 kV Spænding med jordet Midtpunkt.

Ledningen føres som Luftledning gennem Sverige, som Kabler under Øresund og atter som Luftledning gennem Sjælland til en Omformerstation ved København for de 23,000 kW, som bruges paa Sjælland og Lolland-Falster. Fra København føres Ledningen videre over Korsør, Nyborg til en Omformerstation ved Kolding og derfra videre til en Omformerstation ved Aarhus, hvilke to Omformerstationer leverer Kraft til Jylland og Fyen, tilsammen 19,000 kW. Fra Omformerstationerne udgaar 50 kV Vekselstrømsledninger til Forbrugscentrerne i Danmark, ganske som nævnt under A og som vist paa Kortet. Endvidere opstilles Synkronmotorer som under A. Jævnstrømsledningerne har baade som Luftledninger og som Kabler 240 mm² Tværsnit Kobber (eller for Luftledningen det ækvivalente Tværsnit af Staal-Aluminium). Isolationen af Ledningerne er den samme som foran nævnt.

Det bemærkes, at Kablerne under Øresund i dette Tilfælde, ligesom under det senere nævnte Alt. D, kan erstattes med Luftledninger, men at denne Mulighed ikke frembyder nogen Fordel ved Jævnstrøm, da man her tør

regne med at kunne anvende en lige saa høj Spænding i Kablerne som i Luftledningerne.

Paa vedføjede Skema B samt tilhørende Tabel B er givet en Oversigt med Beregninger over Anlæget paa forskellige Udbygningstrin, svarende til de under A angivne, idet der dog er tilføjet et Udbygningstrin II, ved hvilket Jævnstrømsledningerne kun er forlænget til Omformerstationen ved Kolding. De medgaaende Kapitaler, regnet fra Kraftstationen i Norge til Forbrugscentrerne i Danmark, ses at være følgende:

I a	23,8 Mill. Kr. dansk	III	56,4 Mill. Kr. dansk
I b	28,2 » » »	IV	58,7 » » »
II	46,9 » » »	V	92,8 » » »

Af disse Udbygningstrin svarer ligeledes her Trin III til Overføring af 42,000 kW til Forbrugscentrerne i Danmark.

Om de forskellige Udbygningstrin er forøvrig tilsvarende Bemærkninger at gøre, som anført under A. Som Resultat af Tabellen fremgaar, at Prisen pr. kW-Aar, henført til Forbrugscentrerne i Danmark, stiller sig saaledes:

I a	215 Kr. dansk pr. kW-Aar	III	240 Kr. dansk pr. kW-Aar
I b	220 » » » »	IV	212 » » » »
II	250 » » » »	V	188 » » » »

Af disse Priser er det atter her den under III anførte, Kr. 240, som danner Grundlag for Udvalgets Bedømmelse af Anlæget i økonomisk Henseende, hvorom nærmere nedenfor.

C. Vekselstrømsanlæg med Luftledning gennem Sverige og Kabel under Øresund.

De særlige Spørgsmaal som paatrænger sig ved Anlæg for Kraftoverføring med trefaset Vekselstrøm paa saa stor Afstand og med saa høj Spænding, som der her bliver Tale om, nemlig: Koronatab, Faseforskydning, Spændingsregulering m. m. samt Normer og Bekostninger for Transformatorstationer og Kraftledninger, er gjort til Genstand for en nærmere Behandling i de vedføjede Bilag 3, 5, 6 og 7, til hvilke der henvises.

Ledningsanlæget er vist paa vedføjede Kort C. Elektriciteten er beregnet

leveret fra Kraftstationen ved Nore eller et andet i Forhold til Danmark ikke fjærnere liggende Vandkraftanlæg i Norge. Dette forsynes med Transformatorer og Apparatanlæg for 132 kV Spænding 50 Perioder samt indrettes for 2 udgaaende Ledninger. Spændingen, 132 kV, er valgt under Hensyn til, at samme Spænding er fastsat som Normalspænding for elektriske Hovedledningsanlæg i Sverige og muliggør saaledes direkte Tilslutning til disse, f. Eks. ved Etablering af en Koblingsstation ved Trollhättan, hvilket bl. a. kan være af Betydning som Reserve under Reparation af Ledninger o. l.

Ledningerne føres som Luftledning gennem Sverige til en Hovedtransformatorstation ved Helsingborg, hvilken Station udstyres med Transformatorer à 20 MVA samt Synkronmotorer og eventuelt Reaktansspoler til Regulering af Spændingen under forskellige Belastningsforhold.

I Transformatorstationen ved Helsingborg nedsættes Spændingen til 50 kV, hvilket er den højeste Vekselstrømsspænding, man tør regne at kunne anvende ved Kabler i direkte Forbindelse med Luftledninger. Fra Helsingborg udgaar et 50 kV Ledningsnet, som fordeler Elektriciteten til de forskellige Forbrugscentrer i Danmark.

132 kV-Ledningerne fra Norge til Helsingborg udføres som Luftledninger paa Jærnmaster. Der anbringes en Masterække for hver trefaset Ledning. Ledningerne bæres af Hængeisolatorer (9—10 Stk. pr. Kæde) og gøres af 120 mm² Tværsnit Kobber (eller det ækvivalente Tværsnit af Staal-Aluminium). Masterne dimensioneres saaledes, at de — om ønskes — senere kan optage Ledninger af det dobbelte Tværsnit (240 mm² Kobber eller tilsvarende Staal-Aluminium). Endvidere disponeres hele Masteanlægget saaledes, at det ved senere Opstilling af ialt 3 Masterækker kan benyttes til 2 trefasede Ledninger for 220 kV Spænding. Der er herved, uden synderlige Merudgifter til at begynde med, disponeret paa langt Sigt med store Udvidelsesmuligheder for Øje.

50 kV-Landledningerne i Danmark udføres som Luftledninger paa Jærnmaster med Hængeisolatorer (4—5 pr. Kæde), mens Søkabelstrækningerne udføres som profiltraadarmerede Treleder-Blykabler med 12—15 mm Isolation.

Dimensionerne af 50 kV Ledninger er angivet i Tabel C og deres Udstrækning paa Kortet, som tillige viser (punkteret) de for Tiden bestaaende samt efter Skøn yderligere nødvendige 50 kV Ledninger i Danmark.

Til Regulering af Spændingen paa 50 kV Ledningsnettet saavel i Jylland som paa Øerne opsættes Synkronmotorer i Ledningsnettets Hovedpunkter.

Paa vedføjede Skema C samt tilhørende Tabel C er givet en Oversigt over Anlægget paa forskellige Udbygningstrin, for hvilke de medgaaende Kapitaler, regnet fra den ved Vandkraftanlægget i Norge beliggende Transformatorstation (men excl. denne) til Forbrugscentrerne i Danmark, er følgende:

Ia	18,9 Mill. Kr. dansk	III	57,9 Mill. Kr. dansk
Ib	23,2 » » »	IV	59,0 » » »
Ic	39,2 » » »		

Af disse Udbygningstrin svarer, ligesom tidligere, III til Overføring af ca. 42,000 kW til Forbrugscentrerne i Danmark.

Anlægget bestaar i denne Skikkelse i Hovedsagen af 2 trefasede 132 kV Ledninger til Transformatorstationen i Helsingborg og 4 udgaaende 50 kV Ledninger, hvoraf 2 forsyner Sjælland og Lolland-Falster og 2 Fyen og Jylland.

Ved Udbygningstrin Ia, Ib og Ic omfatter Anlægene kun Forsyningen af Sjælland og Lolland-Falster, ialt med 23,000 kW henført til Forbrugscentret ved København.

Trinene Ia og Ib er, ligesom tidligere, medtaget som Stadier under Udbygningen, idet de kræver Anvendelse af en væsentlig mindre Kapital end den til hele Anlægget medgaaende.

Om Trin Ia, ved hvilket Kraften antages leveret fra Glommen, bemærkes, at der intet vides om, i hvilket Omfang de derværende Anlæg er i Stand til at bestride den Kraftleverance, som her er Tale om. Prisen paa Effekten fra Glommen er regnet 25 % højere end fra de fjernere liggende Kraftanlæg.

Imidlertid indeholder hverken Ia eller Ib nogen Reserve for 132 kV Ledningen til Helsingborg og rummer saaledes en Usikkerhed i Driften, som man muligvis ikke i Længden kan se bort fra. I Trin Ic er denne Mangel afhjulpet ved, at Ledningen er gjort dobbelt.

Imidlertid bliver Prisen herved, som det vil ses af nedennævnte Tal, saa høj, at 50 kV Ledningsanlægget samtidig bør føres videre til Jylland og Fyen, hvorved Omkostningerne ved Dobbeltledningen fra Norge fordeles paa en større Effekt. Det herved fremkomne Trin er det først omtalte (III).

Endelig er medtaget et Udbygningstrin IV, som kun er forskellig fra Trin

III ved nogle paa Hovedpunkterne i Danmark foretagne Forøgelser af den tidligere anbragte Synkroneffekt, ved hvilke Foranstaltninger Anlægets Overføringsevne forøges til 53,300 kW, hvilket omtrent er det samme som forekommer i Trin IV under de tidligere omtalte Alternativer A og B.

Som Resultat af Tabellen fremgaar, at Priserne pr. kW-Aar, henført til Forbrugscentrerne i Danmark ved de forskellige Udbygningstrin, stiller sig saaledes:

Ia	208 Kr. dansk pr. kW-Aar	III	251 Kr. dansk pr. kW-Aar
Ib	206 » » » »	IV	235 » » » »
Ic	266 » » » »		

Af disse Priser er det ligeledes her den under III anførte, Kr. 251, som danner Grundlaget for Sammenligning med de foregaaende Alternativer A og B, hvorom nærmere nedenfor.

D. Vekselstrømsanlæg med Luftledning gennem Sverige og Luftledning over Øresund.

De særlige Spørgsmaal som paatrænger sig ved Anlæg for Kraftoverføring med trefaset Vekselstrøm paa saa stor Afstand og med saa høj Spænding, som der her bliver Tale om, nemlig: Koronatab, Faseforskydning, Spændingsregulering m. m. samt Normer og Bekostninger for Transformatorstationer og Kraftledninger, er gjort til Genstand for en nærmere Behandling i de vedføjede Bilag 3, 5, 6 og 7, til hvilke der henvises.

Hvad specielt Luftledningen over Sundet angaar henvises til Bilag 4.

Ledningsanlæget er vist paa vedføjede Kort D og er i Hovedsagen det samme som angivet paa Kort C, dog med den Forskel, at den fra Norge udgaaende 132 kV Ledning føres over Øresund som Luftledning Nord for Helsingborg og herfra videre, først til et Punkt i Nærheden af København og dernæst til et Punkt i Nærheden af Kalundborg, hvor der begge Steder indrettes Transformatorstationer for Nedtransformering af Spændingen til 50 kV, og eventuelt 30 kV for Forsyningen af København og Frederiksberg. 50 kV er, som før nævnt, den højeste Vekselstrømsspænding, man tør regne med ved Kabelanlæg.

De 132 kV Ledninger udføres med samme Dimension som tidligere angivet under C. Ligeledes udføres de fra Transformatorstationerne ved København og Kalundborg udgaaende 50 kV Luftledninger og Kabler som dér nævnt. Den større Overføringsevne, som disse Ledninger herved bliver i Besiddelse af, kommer Anlæget til Gode i Form af større fremtidige Udvidelsesmuligheder.

Til Regulering af Spændingen paa 50 kV Ledningsnettet saavel i Jylland som paa Øerne opsættes Synkronmotorer og eventuelt Reaktansspoler i Ledningsnettets Hovedpunkter.

Luftledningen over Sundet udføres ved Hjælp af to i Sundet opstillede Gittertaarne af ca. 200 m Højde over Havfladen samt et noget lavere Gittertaarn paa dansk Side. Idet Fundamenterne for de to førstnævnte Taarne anbringes paa 10 m Vanddybde, fremkommer 2 Spænd à ca. 2300 m og et kortere (ca. 1100 m) paa svensk Side. Ledningerne udføres af sammensnoede Traade af Staal, 240 mm², med et udvendigt Lag af Aluminiumtraade, 110 mm². Disse Ledninger vil med tilstrækkelig Sikkerhed kunne strammes saa meget, at der under alle Omstændigheder bliver en fri Højde for Fartøjer paa 60 m. Gittertaarnene dimensioneres saaledes, at de ialt kan optage 6 strømførende Ledninger af nævnte Dimension for en Spænding af indtil 220 kV.

Paa vedføjede Skema D samt tilhørende Tabel D er givet en Oversigt over Anlæget paa forskellige Udbygningstrin, for hvilke de medgaaende Kapitaler, regnet fra den ved Vandkraftanlægene i Norge beliggende Transformatorstation (men exkl. denne) til Forbrugscentrerne i Danmark, er følgende:

Ia	20,6 Mill. Kr. dansk	IV	61,8 Mill. Kr. dansk
Ib	24,9 » » »	Va	95,7 » » »
Ic	41,6 » » »	Vb	83,5 » » »
III	60,6 » » »		

Af disse Udbygningstrin svarer, ligesom tidligere, III til Overføring af ca. 42,000 kW til Forbrugscentrerne i Danmark.

Anlæget bestaar i denne Skikkelse af 2 trefasede 132 kV Ledninger til Transformatorstationerne ved København og Kalundborg samt 2 fra sidstnævnte Transformatorstation udgaaende 50 kV Ledninger til Jylland og Fyen, medens Forsyningen af Sjælland og Lolland-Falster foregaar fra Transforma-

torstationen ved København gennem Ledninger, som til Dels allerede forefindes.

Ved Udbygningstrin Ia, Ib og Ic omfatter Anlægene kun Forsyningen af Sjælland og Lolland-Falster, ialt med 23,000 kW, leveret ved Forbrugscentret ved København. Vedrørende disse Udbygningstrin henvises til, hvad derom er sagt under Alt. C.

Endvidere er der, ligesom tidligere, medtaget et Udbygningstrin IV, som kun er forskelligt fra Trin III ved nogle paa Hovedpunkterne i Danmark foretagne Forøgelser af den tidligere anbragte Synkroneffekt, ved hvilke Foranstaltninger Anlægets Overføringsevne forøges til 52,500 kW. Det bemærkes dog samtidig, at medens de i Alt. C nævnte 53,300 kW omtrent var Grænsen for, hvad Anlæg C med passende Virkningsgrad kunde overføre, ligger Grænsen for, hvad Anlæg D under lige Forhold kan overføre, antagelig ved ca. 65,000 kW, og heri ligger en af Fordelene ved at føre den høje Spænding, 132 kV, frem til København og Kalundborg.

Endelig er tilføjet tvende Udbygningstrin Va og Vb, ved hvilke den ved Forbrugscentrerne i Danmark leverede Effekt er forøget til 105,000 kW (det dobbelte af Trin IV). Ved begge disse Trin er 50 kV Vekselstrømsanlægene i Danmark fordoblede i Forhold til Trin IV. Ved Trin Va er Anlægets Overføringsspænding ligesom hidtil ansat til 132 kV, idet dog Ledningsdimensionerne er forøget til 400 mm² Aluminium + 90 mm² Staal. Dette Udbygningstrin svarer omtrent til den praktiske Grænse for 132 kV Anlægets Overføringsevne ved Dobbeltledning.

Ved Trin Vb er der regnet med, at Anlæget udføres for 220 kV Spænding og Enkeltledning med en Leder som Reserve. Dette Anlæg kan bedst tænkes udført som en Udvidelse af det under Trin Ib omhandlede Anlæg. Ved at have een Leder som Reserve kan saavel Ombygningen som senere Revisionsarbejder foretages uden Driftsstandsninger.

Som Resultat af Tabellen fremgaar, at Priserne pr. kW-Aar, leveret ved Forbrugscentrerne i Danmark ved de forskellige Udbygningstrin, stiller sig saaledes:

Ia	208 Kr. dansk pr. kW-Aar	IV	226 Kr. dansk pr. kW-Aar
Ib	207 » » » »	Va	210 » » » »
Ic	271 » » » »	Vb	181 » » » »
III	244 » » » »		

Af disse Priser er det ligeledes her den under III anførte, Kr. 244, som danner Grundlaget for Udvalgets Sammenligning med de tidligere behandlede Alternativer A, B og C, hvorom nærmere i næste Afsnit.

Sammenligning mellem de forskellige Alternativer.

Sammenlignes de i de foregaaende Afsnit (A, B, C og D) anførte Tal, som angiver Anlægsomkostningerne, stiller disse sig for Trin III saaledes:

A.	49,6	Mill. Kr. dansk
B.	56,4	» » »
C.	57,9	» » »
D.	60,6	» » »

Disse Beløb fordeler sig paa de indenfor de 3 Landes Omraader faldende Anlæg paa følgende Maade:

	Ialt	Norge	Sverige	Danmark	
A. III	49,6	2,6 [1]		47,0 [2]	Mill. Kr. dansk
B. III	56,4	8,9 [3]	12,5 [4]	35,0 [5]	» » »
C. III	57,9	13,6 [3]	22,4 [6]	21,9 [7]	» » »
D. III	60,6	13,6 [3]	19,1 [4]	27,9 [5]	» » »

Prisen pr. kW-Aar, leveret ved Forbrugscentrerne i Danmark, stiller sig for Trin III saaledes:

A.	224	Kr. dansk pr. kW-Aar
B.	240	» » » »
C.	251	» » » »
D.	244	» » » »

Det ses altsaa at A (Jævnstrømsanlæg med Kabel under Skagerak) saavel i Henseende til anvendt Kapital som til Pris pr. kW-Aar bliver billigst og

[1] Fra Kraftstation i Norge til Kyst ved Kristiansand.
[2] Fra Kyst ved Kristiansand til Forbrugscentrer i Danmark.
[3] Fra Kraftstation i Norge til Grænse ved Kornsjø.
[4] Fra Grænse ved Kornsjø til Kyst ved Helsingborg.
[5] Fra Kyst ved Helsingborg til Forbrugscentrer i Danmark.
[6] Fra Grænse ved Kornsjø til Transformatorstation ved Helsingborg, incl. denne.
[7] Fra Transformatorstation ved Helsingborg, excl. denne, til Forbrugscentrer i Danmark.

C og D (Vekselstrømsanlæg med Luftledning gennem Sverige) dyrest, medens B (Jævnstrømsanlæg med Luftledning gennem Sverige) ligger imellem.

Et Valg mellem de forskellige Alternativer efter disse Tal alene vilde altsaa falde ud til Fordel for A. Imidlertid er der ogsaa andre Hensyn at tage, hvorom bemærkes følgende:

Alternativ A beror paa Muligheden af, at udføre et driftssikkert 2×110 kV Jævnstrømsanlæg med Kabel under Skagerak. Udvalgets danske og norske Medlemmer, som særlig har studeret dette Projekt, mener, at denne Mulighed foreligger; men da Jævnstrømsanlæg for meget høj Spænding hidtil kun er anvendt paa ganske faa Steder, og da Kabelanlæg af den Størrelse og Art, som her er Tale om, aldrig før er bragt til Udførelse, er det ikke udelukket, at der kan opstaa betydelige Forøgelser af de anførte Beløb. Forinden dette Alternativ kan anbefales, maa der derfor foretages mere indgaaende Undersøgelser end Udvalget hidtil har haft Anledning til at foretage.

Ved Alternativ B er de tekniske Vanskeligheder af mindre Betydning, og Udvalget mener derfor at dette Anlæg, efter at være nøje gennemarbejdet i Detaljerne, kan udføres med tilfredsstillende Sikkerhed. Derimod har Alternativ B i Forhold til C og D den Mangel, at det ikke uden stærkt forøgede Udgifter tillader Forbindelse med de svenske Hovedledningsanlæg og saaledes saa godt som udelukker de gensidige Fordele alle Parter kunde have af saadanne Forbindelser.

Vedrørende Alternativ C og D maa Udvalget pege paa, at 50 kV trefasede Kabler saavel til Nedlægning i Jorden som i Søen, saavidt vides, endnu ikke er bragt til Udførelse eller i hvert Tilfælde ikke prøvet i større Omfang i daglig Drift gennem længere Tid, og at der saaledes ved Forslaget om Anvendelse af disse er en vis Usikkerhed. De senere Aars Fremskridt paa Kabelteknikkens Omraade gør imidlertid, at Udvalget tør gaa ud fra, at det Tidspunkt snart vil foreligge, da man kan regne med saadanne Kablers Anvendelighed i større Udstrækning, og Udvalget er i sine Grundlag for Alt. C og D gaaet ud herfra. Det vilde for Alt. C have været i høj Grad ønskeligt, om Udvalget havde kunnet foreslaa en højere Spænding end 50 kV for Fordelingsnettet i Danmark, idet denne Spænding i Grunden er for lav til de store Effektbeløbs Overføring til Jylland, hvilket giver sig til Kende derved, at Anlægene til Forsyning af disse Dele af Landet bliver relativt dyre og giver Anledning til for-

holdsvis store Tab under Vejs. Men Muligheden for Forslag om en saadan højere Spænding er paa nærværende Tidspunkt udelukket, da — som sagt — allerede den foreslaaede Spænding af 50 kV danner Grænsen for, hvad der indtil videre kan tænkes præsteret paa Kabelteknikkens Omraade.

Imidlertid kommer man i Hovedsagen udover disse Vanskeligheder ved Alt. D, idet Overføringsdistancen for 50 kV Anlæget herved reduceres fra ca. 345 til ca. 210 km. Dette giver sig allerede ved Udbygningstrin III Udtryk gennem en lavere Pris pr. kW-Aar for Alt. D end for Alt. C. Og den saaledes fremtrædende Fordel vokser ved forøget Effekt.

For endelig at faa Overblik over, hvorledes Omkostningerne vil stille sig i fjærnere Fremtid, har Udvalget — som nævnt — udført Beregninger for 105,000—109,000 kW, leveret ved Forbrugscentrerne i Danmark. Ved disse Trin kan kun Alt. A, B og D med Fordel anvendes. Anlægsomkostningerne og Priserne pr. kW-Aar vil herved blive:

	Anlægskapital i Kr. dansk	Overført kW	Pris i Kr. dansk pr. kW-Aar
Alt. A, Trin V . . .	84,2	109,000	180
» B, » V . . .	92,8	109,000	188
» D, » Va . .	95,7	105,000	210
» D, » Vb . .	83,5	105,000	181

RESUMÉ

Som Resumé af hvad der i det foregaaende er sagt om de forskellige Alternativer skal Udvalget udtale, at de Momenter, som kan anføres for og imod disse Alternativer, er af den Art, at Udvalget ikke paa det nuværende Tidspunkt anser det for hensigtsmæssigt — trods Prisforskellen — at udtale sig om, hvilket der bør foretrækkes.

Som Maal for, hvad Elektriciteten efter de opstillede Beregninger med runde Tal maa antages at ville koste, kan angives 225—250 Kr. dansk pr. kW-Aar for ca. 42,000 kW, leveret ved 5 Forbrugscentrer i Danmark, hvilke Priser reduceres til 180—210 Kr. dansk pr. kW-Aar ved en Forøgelse til godt 100,000 kW.

Udvalget skal endvidere gøre opmærksom paa, at af de totale Omkostninger er — ligeledes rundt regnet — omtrent den ene Halvdel Betaling for selve Elektriciteten i Norge, medens de til Forrentning og Afdrag af Kapitalen samt til Vedligeholdelse og Drift af Overføringsanlægene nødvendige Udgifter, som tilsammen er ansat til 10 % af Anlægskapitalen, udgør den anden Halvdel. Prisen paa Elektriciteten fra Norge er regnet til 125 Kr. norsk pr. kW-Aar fra Glommen og 100 Kr. norsk pr. kW-Aar fra de øvrige Kraftanlæg, hvilke Priser er sat lig 100, henholdsvis 80 Kr. dansk pr. kW-Aar.

Omkostningerne ved Overføringsanlægene er beregnet efter det Prisniveau, som var gældende i Foraaret 1922, hvilke for Anlæg af den Art, der her er Tale om, formentlig omtrent ligger ved det dobbelte af, hvad tilsvarende Anlæg kostede i danske Kroner før Krigen. Der vil derfor formentlig være Mulighed for ad Aare at komme lavere med disse Priser end her nævnt, idet det vel tør formodes, at alle Anlægsomkostninger vil synke inden det Tidspunkt naas, da en eventuel Kraftoverføring fra Norge kan komme til Udførelse.

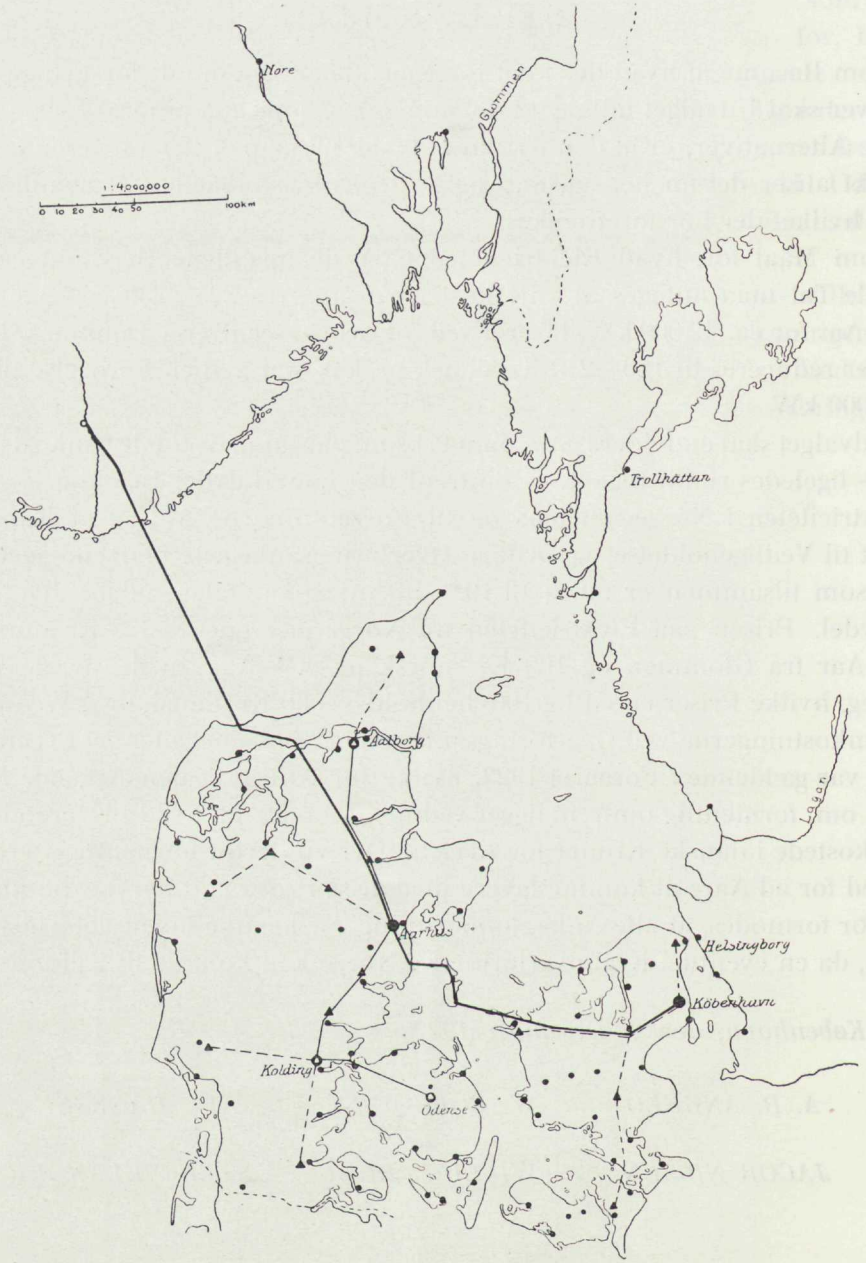
København, den 2. December 1922.

A. R. ANGELO	*W. BORGQUIST*	*EIV. HANSSEN*
JACOB NISSEN	*WILLIAM RUNG*	*STEN VELANDER*

JÆVNSTRØMSANLÆG MED KABEL UNDER SKAGERAK

Kort A

LEDNINGSANLÆG

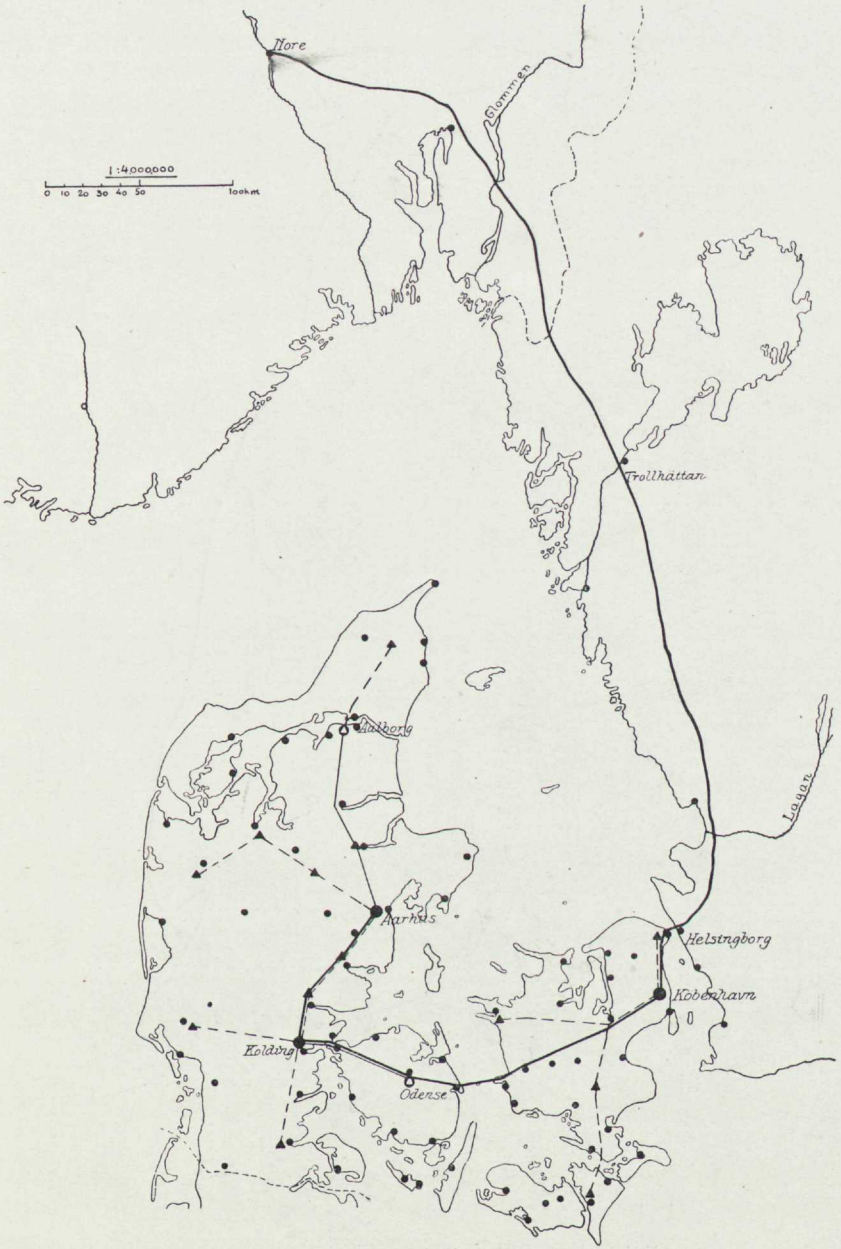


2×110 kV Jævnstrømsledninger.
50 kV Vekselstrøms-Hovedledning.
50 kV Vekselstrøms-Sideledning (ikke medregnet i Overslagene).
Omformerstation (Jævnstrøm 2×110 kV — Vekselstrøm 50 kV).
50 kV Hovedtransformatorstation.
50 kV Lokal-Transformatorstation (ikke medregnet i Overslagene).

JÆVNSTRØMSANLÆG MED LUFTLEDNING GENNEM SVERIGE

Kort B

LEDNINGSANLÆG



— 2×110 kV Jævnstrømsledninger.
—— 50 kV Vekselstrøms-Hovedledning.
- - - 50 kV Vekselstrøms-Sideledning (ikke medregnet i Overslagene).
● Omformerstation (Jævnstrøm 2×110 kV — Vekselstrøm 50 kV).
○ 50 kV Hovedtransformatorstation.
▲ 50 kV Lokal-Transformatorstation (ikke medregnet i Overslagene).

VEKSELSTRØMSANLÆG MED LUFTLEDNING GENNEM SVERIGE
OG KABEL UNDER ØRESUND

Kort C

LEDNINGSANLÆG

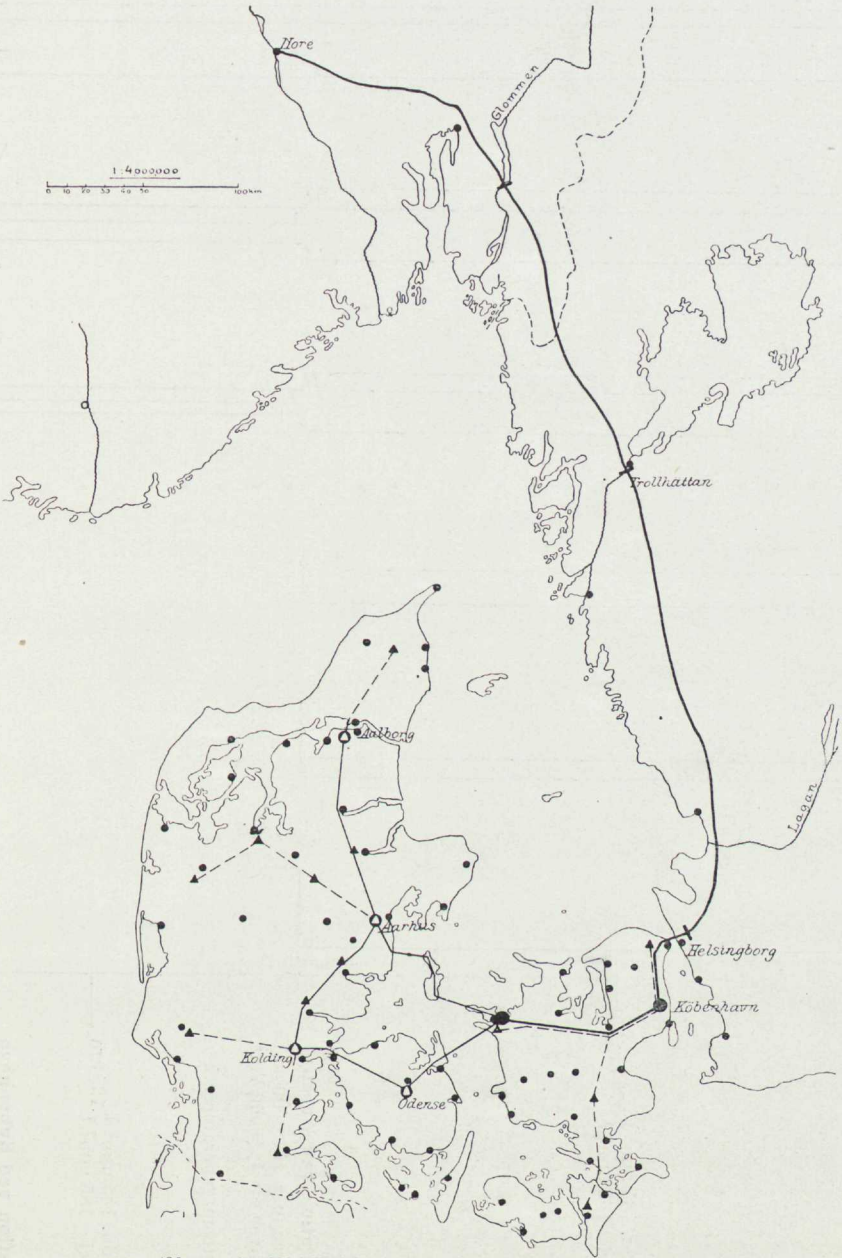


— 132 kV Vekselstrøms-Hovedledning.
— 50 kV Vekselstrøms-Hovedledning.
- - - 50 kV Vekselstrøms-Sideledning (ikke medregnet i Overslagene).
■ 132 kV Hovedtransformatorstation.
o 50 kV Hovedtransformatorstation.
▲ 50 kV Lokal-Transformatorstation (ikke medregnet i Overslagene).
+ Koblingsstation.

VEKSELSTRØMSANLÆG MED LUFTLEDNING GENNEM SVERIGE
OG LUFTLEDNING OVER ØRESUND

Kort D

LEDNINGSANLÆG

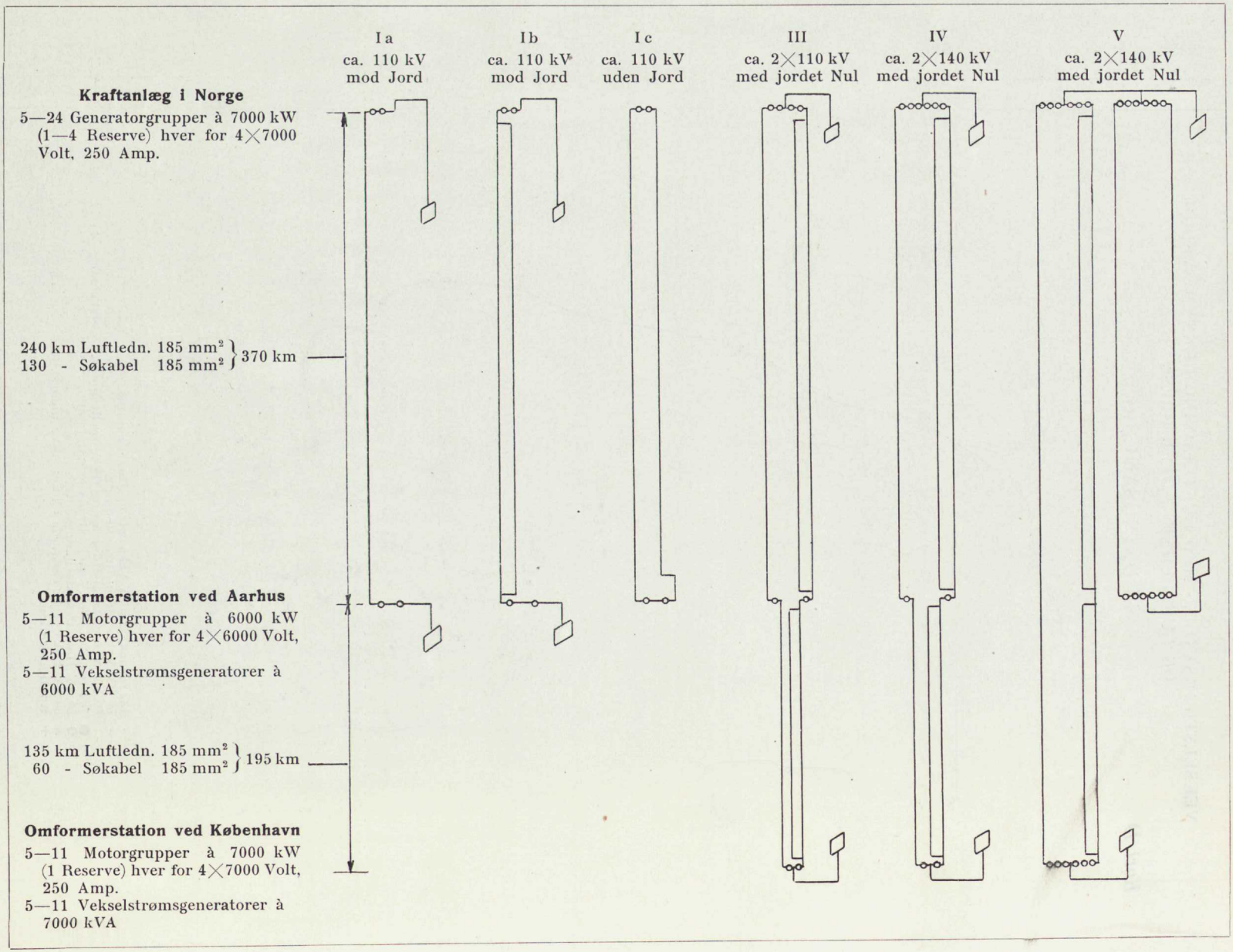


— 132 respekt. 220 kV Vekselstrøm-Hovedledning.
— 50 kV Vekselstrøm-Hovedledning.
- - - 50 kV Vekselstrøm-Sideledning (ikke medregnet i Overslagene).
● 132 respekt. 220 kV Hovedtransformatorstation.
○ 50 kV Hovedtransformatorstation.
▲ 50 kV Lokal-Transformatorstation (ikke medregnet i Overslagene).
+ Koblingsstation.

SKEMA A.

Jævnstrømsanlæg med Kabel under Skagerak.

Skema over Ledningsanlæg.



TABEL A

Jævnstrømsanlæg med Kabel under Skagerak.

Anlægsudgifter og aarlige Udgifter i Kr. dansk.

Anlægsudgifter	I a			I b			I c			III			IV			V		
Jævnstrømsanlæg 2×110 kV og 2×140 kV	Antal	Kr. pr. m	Mill. Kr.	Antal	Kr. pr. m	Mill. Kr.	Antal	Kr. pr. m	Mill. Kr.	Antal	Kr. pr. m	Mill. Kr.	Antal	Kr. pr. m	Mill. Kr.	Antal	Kr. pr. m	Mill. Kr.
240 km Luftledning . . . . . 185 mm²	1	19,00	4,6	2	24,00	5,8	2	24,00	5,8	- 3	29,20	7,0	3	29,20	7,0	5	53,20	12,8
Jordledning . . . . . 185 »	1		0,3	1		0,3	1		0,3	1		0,1	1		0,1	1		0,1
130 km Søkabel . . . . . 185 »	1	23,00	3,0	2	46,00	6,0	2	46,00	6,0	3	69,00	9,0	3	69,00	9,0	5	115,00	15,0
Udlægning af Kabel	1		1,5	2		2,0	2		2,0	3		2,5	3		2,5	5		3,5
Telefonanlæg anslaas til			1,2			1,2			1,2			1,2			1,2			1,2
Omformerstation ved Aarhus	5×6000 kVA		6,9	5×6000 kVA		6,9	5×6000 kVA		6,9	5×6000 kVA		7,0	6×6000 kVA		8,1	11×6000 kVA		14,9
135 km Luftledning . . . . 185 mm²										3	29,20	3,9	3	29,20	3,9	3	29,20	3,9
60 » Søkabel . . . . . 185 »										3	69,00	4,1	3	69,00	4,1	3	69,00	4,1
Udlægning af Kabel										3		1,0	3		1,0	3		1,0
Omformerstation ved København . .										5×7000 kVA		7,8	6×7000 kVA		9,0	11×7000 kVA		15,8
Anlægsudgifter ialt for Jævnstrøm . .			17,5			22,2			22,2			43,6			45,9			72,3
Vekselstrømsanlæg, 50 kV																		
110 km Luftl. Aarhus-Aalb., 3×70 mm²	1	15,20	1,6	1	15,20	1,6	1	15,20	1,6	1	15,20	1,6	1	15,20	1,6	2	30,40	3,2
100 » » Aarh.-Kold., 2×3×70 »	1	25,50	2,6	1	25,50	2,6	1	25,50	2,6	1	25,50	2,6	1	25,50	2,6	2	51,00	5,2
68 » » Kold.-Odense, 3×50 »	1	14,00	1,0	1	14,00	1,0	1	14,00	1,0	1	14,00	1,0	1	14,00	1,0	2	28,00	2,0
2 » » » » 3×95 »	2		0,2	2		0,2	2		0,2	2		0,2	2		0,2	3		0,3
Synkronmotorer i Jylland og Fyen .	14,000 kVA		0,6	14,000 kVA		0,6	14,000 kVA		0,6	14,000 kVA		0,6	14,000 kVA		0,6	28,000 kVA		1,2
Anlægsudgifter ialt for Vekselstrøm .			6,0			6,0			6,0			6,0			6,0			11,9
Anlægsudg. ialt for Jævn- og Vekselstr.			23,5			28,2			28,2			49,6			51,9			84,2
Aarlige Udgifter																		
Aarlige Udgifter 10 % af Anlægsudg.			2,35			2,82			2,82			4,96			5,19			8,42
Leveret ved Forbrugscentrer i Danm.	19,000 kW			19,000 kW			19,000 kW			42,000 kW			53,600 kW			109,000 kW		
Tab i Vekselstrømsled. og Synkronm.	1,700 »			1,700 »			1,700 »			1,700 »			2,400 »			4,000 «		
Leveret fra Omformerstationerne . .	20,700 »			20,700 »			20,700 »			43,700 »			56,000 »			113,000 »		
» til » . .	24,000 »			24,000 »			24,000 »			50,500 »			65,000 »			130,600 »		
Tab i Jævnstrømsledningerne	2,200 »			1,100 »			4,400 »			5,000 »			5,000 »			9,400 »		
Leveret fra Kraftstation i Norge . . .	26,200 »			25,100 »			28,400 »			55,500 »			70,000 »			140,000 «		
Køb af Effekt i Norge à 80 Kr. pr. kW-Aar			2,10			2,00			2,26			4,43			5,60			11,20
Aarlige Udgifter ialt			4,45			4,82			5,08			9,39			10,79			19,62
Aarlige Udgifter Kr. pr. kW-Aar . . .	234			252			266			224			202			180		
Virkningsgrad, total	73 %			76 %			67 %			76 %			77 %			78 %		

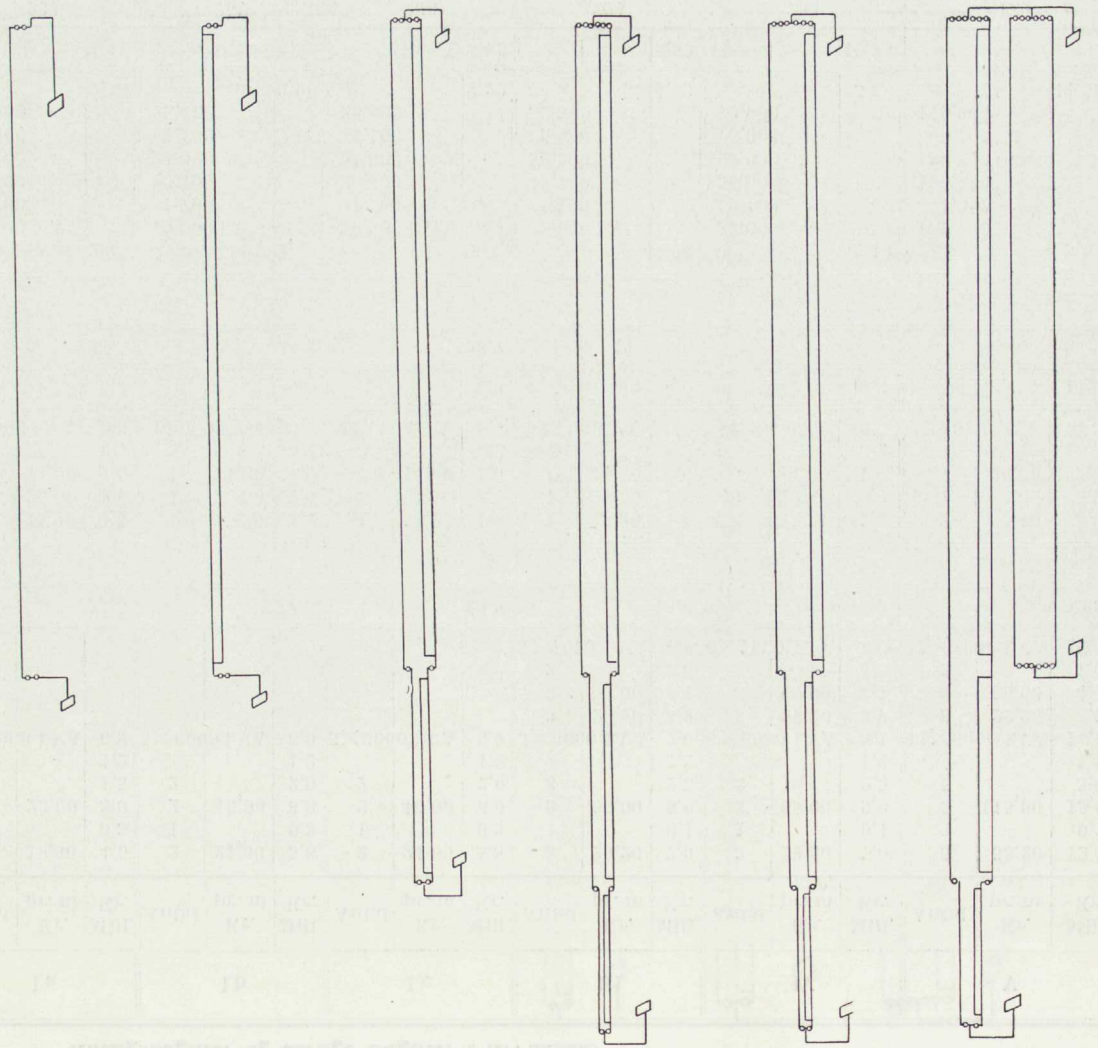
De i ovenstaaende Tabel indeholdte Udgifter er beregnet efter det Prisniveau, som var gældende i Foraaret 1922.

SKEMA B.

Jævnstrømsanlæg med Luftledning gennem Sverige.

Skema over Ledningsanlæg.

	Ia ca. 110 kV mod Jord	Ib ca. 110 kV mod Jord	II ca. 2×110 kV med jordet Nul	III ca. 2×110 kV med jordet Nul	IV ca. 2×140 kV med jordet Nul	V ca. 2×140 kV med jordet Nul
Kraftanlæg i Norge 5—24 Generatorgrupper à 7000 kW (1—4 Reserve) hver for 4×7000 Volt, 250 Amp.						
645 km Luftledning 240 mm² } 15 - Søkabel 220 mm² } 660 km						
Omformerstation ved København 5—11 Motorgrupper à 7000 kW (1 Reserve) hver for 4×7000 Volt, 250 Amp. 5—11 Vekselstrømsgenerat. à 7000 kVA						
213 km Luftledning, 240 mm² } 2 - Søkabel 240 mm² } 225 km						
Omformerstation ved Kolding 3—6 Motorgrupper à 6000 kW (1 Reserve) hver for 4×6000 Volt, 250 Amp. 3—6 Vekselstrømsgenerat. à 6000 kVA						
100 km Luftledning 240 mm² = 100 km						
Omformerstation ved Aarhus 2—6 Motorgrupper à 6000 kW (1 Reserve) hver for 4×6000 Volt, 250 Amp. 3—6 Vekselstrømsgenerat. à 6000 kVA						



TABEL B

Jævnstrømsanlæg med Luftledning gennem Sverige.

Anlægsudgifter og aarlige Udgifter i Kr. dansk.

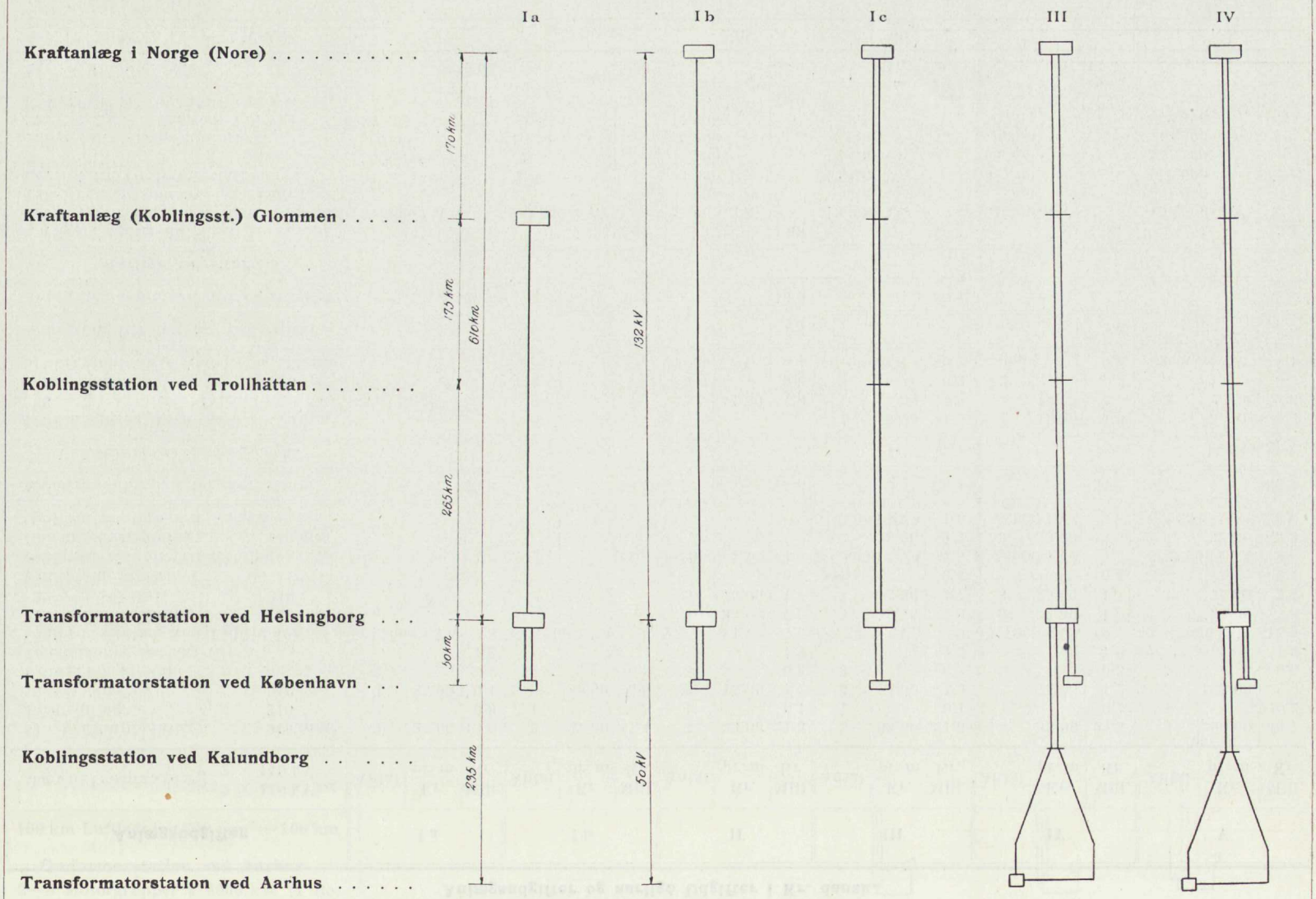
Anlægsudgifter	I a			I b			II			III			IV			V		
Jævnstrømsanlæg 2 × 110 kV og 2 × 140 kV	Antal	Kr. pr. m	Mill. Kr.	Antal	Kr. pr. m	Mill. Kr.	Antal	Kr. pr. m	Mill. Kr.	Antal	Kr. pr. m	Mill. Kr.	Antal	Kr. pr. m	Mill. Kr.	Antal	Kr. pr. m	Mill. Kr.
645 km Luftledning . . . . 240 mm²	1	21,00	13,5	2	27,00	17,4	3	33,00	21,3	3	33,00	21,3	3	33,00	21,3	5	60,00	38,7
Jordledning . . . . . 240 »	1		0,8	1		0,8	1		0,1	1		0,1	1		0,1	1		0,2
15 km Søkabel . . . . . 240 »	1	25,00	0,4	2	50,00	0,8	3	75,00	1,2	3	75,00	1,2	3	75,00	1,2	5	125,00	2,0
Udlægning af Kabel	1		0,1	2		0,2	3		0,3	3		0.3	3		0,3	5		0,5
Telefonanlæg anslaas til			1,2			1,2			1,2			1,2			1,2			1.2
Omformerstation ved København. . .	5×7000 kVA		7,8	5×7000 kVA		7,8	5×7000 kVA		7,9	5×7000 kVA		7,9	6×7000 kVA		9,1	11×7000 kVA		15,9
213 km Luftledning . . . . 240 mm²							3	33,00	7,0	3	33,75	7,0	3	33,00	7,0	3	33,00	7,0
22 » Søkabel. . . . . 240 »							3	75,00	1,7	3	75,00	1,7	3	75,00	1,7	3	75,00	1,7
Udlægning af Kabel									0,4			0,4			0,4			0,4
Omformerstation ved Kolding							3×6000 kVA		4,5	3×6000 kVA		4,5	3×6000 kVA		4,5	6×6000 kVA		8,0
100 km Luftledning . . . . 240 mm²										3	33,00	3,3	3	33,00	3,3	3	33,00	3,3
Omformerstation ved Aarhus										3×6000 kVA		4,5	4×6000 kVA		5,6	6×6000 kVA		8,0
Anlægsudgifter ialt for Jævnstrøm. .			23,8			28,2			45,6			53,4			55,7			86,9
Vekselstrømsanlæg 50 kV																		
110 km Luftled. Aarh.-Aalb. 3×70 mm²										1	15,20	1,6	1	15,20	1,6	2	30,40	3,2
68 » » Kold.-Oden. 3×50 »							1	14,00	1,0	1	14,00	1,0	1	14,00	1,0	2	28,00	2,0
2 » Søkabel » » 3×95 «							2		0,2	2		0,2	2		0,2	3		0,3
Synkronmotorer i Aalborg og Odense							2000 kVA		0,1	5000 kVA		0,2	5000 kVA		0,2	10.000 kVA		0,4
Anlægsudgifter ialt for Vekselstrøm .									1,3			3,0			3.0			5,9
Anlægsudg. ialt for Jævnst. og Vekselst.			23,8			28,2			46,9			56,4			58,7			92,8
Aarlige Udgifter																		
Aarlige Udgifter 10 % af Anlægsudg.			2,38			2,82			4,69			5.64			5,87			9,28
Leveret ved Forbrugscentrer i Danm.	21,500 kW			23,000 kW			33,000 kW			42,000 kW			54,200 kW			109,000 kW		
Tab i Vekselstrømsled. og Synkronm.							200 »			400 »			500 »			1,000 »		
Leveret fra Omformerstationerne. . .	21,500 »			23,000 »			33,200 »			42,400 »			54,700 »			110.000 »		
» til » . . .	25,000 »			26,500 »			38,400 »			49,100 »			63,200 »			127.200 »		
Tab i Jævnstrømsledningerne	3,000 »			1,500 »			6,200 »			6,800 »			6,800 »			12,800 »		
Leveret fra Kraftstation i Norge . . .	28,000 »			28,000 »			44,600 »			55,900 »			70,000 »			140,000 »		
Køb af Effekt i Norge à 80 Kr. pr. kW-Aar			2,24			2,24			3,56			4,47			5,60			11,20
Aarlige Udgifter ialt			4,62			5,06			8,25			10,11			11,47			20,48
Aarlige Udgifter Kr. pr. kW-Aar . . .	215			220			250			240			212			188		
Virkningsgrad, total	77%			82%			74%			75%			77%			78%		

De i ovenstaaende Tabel indeholdte Udgifter er beregnet efter det Prisniveau, som var gældende i Foraaret 1922.

SKEMA C.

Vekselstrømsanlæg med Luftledning gennem Sverige og Kabel under Øresund.

Skema over Ledningsanlæg.



TABEL C

Vekselstrømsanlæg med Luftledning gennem Sverige og Kabel under Øresund.

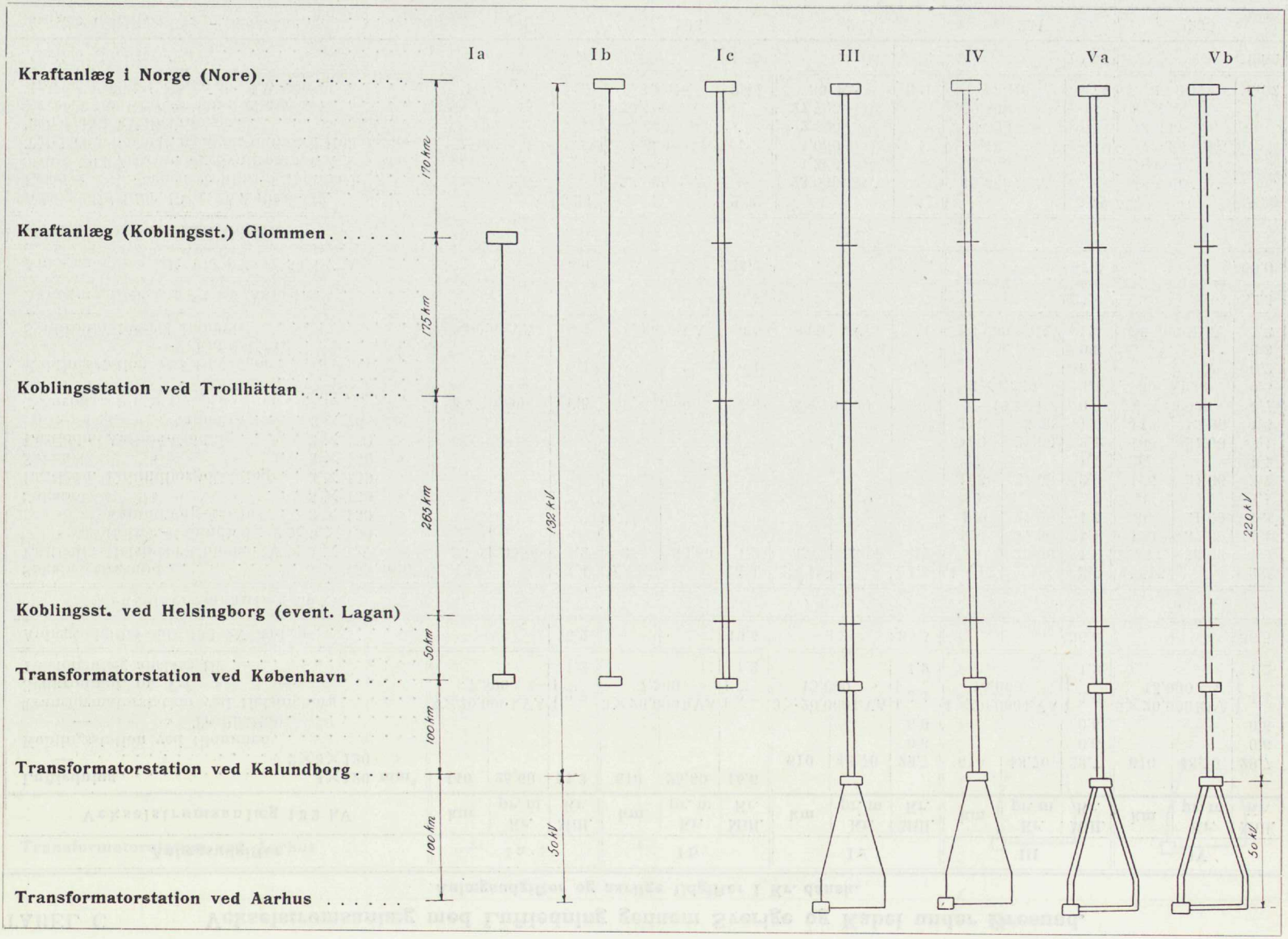
Anlægsudgifter og aarlige Udgifter i Kr. dansk.

Anlægsudgifter	Ia			Ib			Ic			III			IV		
Vekselstrømsanlæg 132 kV	km	Kr. pr. m	Mill. Kr.	km	Kr. pr. m	Mill. Kr.	km	Kr. pr. m	Mill. Kr.	km	Kr. pr. m	Mill. Kr.	km	Kr. pr. m	Mill. Kr.
Luftledning . . . . . 3×120 mm²	440	25,60	11,3	610	25,60	15,6									
— . . . . . 2×3×120 »							610	48,70	29,7	610	48,70	29,7	610	48,70	29,7
Koblingsstation ved Glommen									0,6			0,6			0,6
— » Trollhättan									0,6			0,6			0,6
Transformatorstation ved Helsingborg	3×20,000 kVA		2,7	3×20,000 kVA		2,7	3×20,000 kVA		3,4	4×20,000 kVA		3,9	5×20,000 kVA		4,4
Synkronmot. m. Trf. » —	7,500 »			7,500 »			15,000 »			15,000 »			15,000 »		
Telefonanlæg anslaas til			1,2			1,2			1,2			1,2			1,2
Anlægsudgifter ialt 132 kV Anlæg			15,2			19,5			35,5			36,0			36,5
Vekselstrømsanlæg 50 kV															
Søkabel Øresund . . . . . 3 × 150 mm²	2×15		1,4	2×15		1,4	2×15		1,4	4×15		2,7	4×15		2,7
Luftledn. Helsingør-Kbhvn. . 2 × 3 × 120 »	35	33,00	1,2	35	33,00	1,2	35	33,00	1,2	35	33,00	1,2	35	33,00	1,2
» Helsgr.-Kalundborg 2 × 3 × 150 »										120	37,00	4,4	120	37,00	4,4
» Kalundborg-Aarhus . . . 3 × 150 »										60	21,00	1,3	60	21,00	1,3
Søkabel » » . . . 3 × 150 »										40		2,1	40		2,1
Luftledn. Kalundborg-Kolding . . 3 × 150 »										108	21,00	2,2	108	21,00	2,2
Søkabel » » . . 3 × 150 »										27		1,4	27		1,4
Luftledn. Aarhus-Kolding . . . . . 3 × 150 »										100	21,00	2,1	100	21,00	2,1
» » Aalborg . . . . . 3 × 70 »										110	15,20	1,6	110	15,20	1,6
Transformatorst. ved København	3×10,000		0,6	3×10,000		0,6	3×10,000		0,6	3×10,000		0,6	4×10,000		0,7
» - Aarhus										2×4,000		0,4	3×4,000		0,5
Koblingsstation ved Helsingør			0,1			0,1			0,1			0,2			0,2
» - Kalundborg												0,3			0,3
Synkronmotorer i Danmark	8,000 kVA		0,4	8,000 kVA		0,4	8,000 kVA		0,4	30,000 kVA		1,4	39,000 kVA		1,8
Anlægsudgifter ialt 50 kV Anlæg			3,7			3,7			3,7			21,9			22,5
Anlægsudgifter ialt 132 kV og 50 kV Anlæg . .			18,9			23,2			39,2			57,9			59,0
Aarlige Udgifter															
Aarlige Udgifter 10 % af Anlægsudg.			1,89			2,32			3,92			5,79			5,90
Leveret ved Forbrugscentrer i Danmark	23,000 kW			23,000 kW			23,000 kW			42,000 kW			53,300 kW		
Tab i 50 kV Ledn. og Synkronmot. i Danmark	1,300 »			1,300 »			1,300 »			5,900 »			10,000 »		
Tab i Transformat. og Synkronmot. i Helsingborg	1,000 »			1,000 »			1,000 »			1,700 »			2,900 »		
Tab i 132 kV Ledninger	3,400 »			4,800 »			2,400 »			9,500 »			16,600 »		
Leveret fra Kraftstation i Norge	28,700 »			30,100 »			27,700 »			59,100 »			82,800 »		
Køb af Effekt i Norge pr. kW-Aar	100 Kr.		2,87	80 Kr.		2,41	80 Kr.		2,21	80 Kr.		4,74	80 Kr.		6,62
Aarlige Udgifter ialt			4,76			4,73			6,13			10,53			12,52
Aarlige Udgifter Kr. pr. kW-Aar	208			206			266			251			235		
Virkningsgrad total	80 %			77 %			83 %			71 %			65 %		

De i ovenstaaende Tabel indeholdte Udgifter er beregnet efter det Prisniveau, som var gældende i Foraaret 1922.

SKEMA D. **Vekselstrømsanlæg med Luftledning gennem Sverige og Luftledning over Øresund.**

Skema over Ledningsanlæg.



TABEL D

Vekselstrømsanlæg med Luftledning gennem Sverige og Luftledning over Øresund.

Anlægsudgifter og aarlige Udgifter i Kr. dansk.

Anlægsudgifter	Ia			Ib			Ic			III			IV			Va			Vb		
Vekselstrømsanlæg 132 kV og 220 kV	km	Kr. pr. m	Mill. Kr.	km	Kr. pr. m	Mill. Kr.	km	Kr. pr. m	Mill. Kr.	km	Kr. pr. m	Mill. Kr.	km	Kr. pr. m	Mill. Kr.	km	Kr. pr. m	Mill. Kr.	km	Kr. pr. m	Mill. Kr.
132 kV Luftledning . . . . . 3×120 mm²	483	25.60	12,4	653	25,60	16,7															
— . . . . . 2×3×120 «							653	48,70	31,8	753	48,70	36,7	753	48,70	36.7	100	48,70	4,9			
— . . . . 2×3×400 mm² Al + 90 Fe																653	70,40	46,0			
220 kV — . . . (3+1)×400 « « + 90 «																			753	58,30	43,9
Luftledning over Øresund 2×3×110 « « + 240 «	7		4,0	7		4,0	7		4,0	7		4,0	7		4,0	7		4,0	7		4,0
Koblingsstation ved Glommen									0,6			0,6			0,6			0,6			0,4
— « Trollhättan									0,6			0,6			0,6						0,4
Transformatorstation ved Trollhättan																4×20 MVA		4,3			
Synkronmotorer « —																67 «					
Koblingsstation ved Helsingborg eller Lagan									0,6			0,6			0,6			0,6			0,4
Transformatorstation ved København	3×25 MVA		2,5	3×25 MVA		2,5	3×25 MVA		2,8	3×25 MVA		3,1	3×25 MVA		3,1	4×25 «		3,9	4×20 MVA enfaset		3.7
Synkronmotorer uden Transf. ved København . . .	12 «		0,5	12 «		0,5							15 «		0,6	70 «		2,8	50 «		2,0
Transformatorstation ved Kalundborg										2×25 «		1.9	2×25 «		1,9	3×25 «		2,4	4×20 « enfaset		2,5
Telefonanlæg anslaas til			1,2			1,2			1,2			1,2			1,2			1,2			1,2
Anlægsudgifter ialt 132 og 220 kV Anlæg			20,6			24,9			41,6			48,7			49,3			70,7			58,5
Vekselstrømsanlæg 50 kV*)																					
Luftledning Kalundborg—Aarhus . . . 3×150 mm²										60	21,00	1,3	60	21,00	1,3	60	42,00	2,6	60	42,00	2,6
Søkabel — — . . . . 3×150 «										40		2,1	40		2,1	40		4,2	40		4,2
Luftledning Kalundborg—Kolding . . . . 3×150 «										108	21,00	2,2	108	21,00	2,2	108	42,00	4,4	108	42,00	4.4
Søkabel — — . . . . 3×150 «										27		1,4	27		1,4	27		2.8	27		2,8
Luftledning Aarhus—Kolding . . . . . 3×150 «										100	21,00	2,1	100	21,00	2,1	100	42,00	4,2	100	42,00	4,2
— Aarhus—Aalborg . . . . . 3× 70 «										110	15,20	1,6	110	15,20	1,6	110	30,40	3,2	110	30,40	3,2
Transformatorstation ved Aarhus										2×4 MVA		0,4	3×4 MVA		0,5	6×4 MVA		1,0	6×4 MVA		1,0
Synkronmotorer i Jylland og Fyen										12 «		0,6	23 «		1,1	46 «		2,2	46 «		2,2
Øvrige Spændingsregulering												0,2			0,2			0,4			0,4
Anlægsudgifter ialt 50 kV Anlæg												11.9			12,5			25,0			25,0
Anlægsudgifter ialt 132 (220) kV og 50 kV Anlæg . .			20,6			24,9			41,6			60,6			61,8			95,7			83,5
Aarlige Udgifter																					
Aarlige Udgifter 10 % af Anlægsudg			2,06			2,49			4,16			6 06			6,18			9,57			8.35
Leveret ved Forbrugscentrer i Danmark	23,000 kW			23.000 kW			23,000 kW			42,000 kW			52,500 kW			105.000 kW			105.000 kW		
Tab i 50 kV Ledn. og Synkronm. i Jylland og Fyen										2,200 «			3,800 «			7,500 «			7,500 «		
Tab i Transf. og Synkronm. ved Kalundb. og Kbhvn.	1,200 «			1,100 «			600 «			800 «			1,800 «			6,200 «			4,300 «		
Tab i 132 (220) kV Ledninger	2,900 «			4,100 «			2,400 «			7.500 «			12,800 «			31.800 «			16,700 «		
Tab i Synkronm. ved Trollhättan																4,500 «					
Leveret fra Kraftstation i Norge	27,100 «			28,200 «			26,000 «			52,500 «			70,900 «			155,000 «			133.500 «		
Køb af Effekt i Norge pr. kW-Aar	100 Kr.		2,71	80 Kr.		2,26	80 Kr.		2,08	80 Kr.		4,20	80 Kr.		5,67	80 Kr.		12,40	80 Kr.		10,68
Aarlige Udgifter ialt			4,77			4,75			6,24			10,26			11,85			21,97			19 03
Aarlige Udgifter Kr. pr. kW-Aar	208			207			271			244			226			210			181		
Virkningsgrad, total	85 %			81 %			88 %			80 // %			74 %			68 %			79 %		

*) Ved Udbygningstrin Va og Vb er disse Anlæg fordoblede.

De i ovenstaaende Tabel indeholdte Udgifter er beregnet efter det Prisniveau, som var gældende i Foraaret 1922.

UNDERSØGELSER
VEDRØRENDE
DANMARKS FREMTIDIGE ELEKTRICITETSFORBRUG

En virkelig Beregning af Danmarks Elektricitetsforbrug lader sig selvsagt kun udføre med de allernærmeste Aar for Øje. Hvorledes den videre Udvikling vil forløbe, maa saa godt det lader sig gøre, fastsættes ved Skøn.

I det følgende er søgt gennemført en Beregning af det Forbrug, som de nærmeste Aar vil medføre. Beregningen er gennemført for: 1) Hovedstaden (København og Frederiksberg), 2) Provinsbyerne og 3) Landdistrikterne. Industriens nuværende Forbrug er i Hovedsagen inkluderet i de anførte Tal, men ved en gennemgaaende Elektrificering af hele Industrien vil dette Forbrug blive af en saadan Størrelse, at det maa tages for sig.

1. *Hovedstaden.* Efter det Forbrug, der i de foregaaende Aar har været, maa det antages, at Salget af Elektricitet i Hovedstaden om nogle faa Aar vil andrage ca. 65 Millioner kWh. Lægges hertil ca. 30 % for Tab, vil det hele Forbrug blive *ca. 85 Mill. kWh.*

2. *Provinsbyerne.* For saa godt som muligt at faa en Oversigt over Provinsbyernes Forhold, er der for de sidst forløbne halve Snes Aar beregnet saavel for Lys som for Kraft: Antal Maalere pr. 100 Indb., Tilslutning i kW pr. Maaler og solgte kWh pr. tilsluttet kW aarlig. Beregningerne viser, at de sandsynligste Værdier for de nærmeste Aar er følgende:

	Maalere pr. 100 Indb.	Tilsl. kW pr. Maaler	Solgte kWh pr. kW
Lys	25,0	0,5	225
Kraft	2,5	5,0	300

Indbyggerantallet i alle danske Provinsbyer tilsammen (Byerne i Sønderjylland medregnet) var 1. Febr. 1921: 717,941. Lægges hertil Indbyggertallet for en Del større Stationsbyer, hvilke nærmest er at sammenligne med Provinsbyerne, faas ialt ca. 750,000 Indbyggere, og de totale Tal bliver da følgende:

	Maalere	Tilslutning	Solgte kWh
Lys	190,000	95,000 kW	21 Mill.
Kraft . . .	18,000	90,000 »	27 »
			48 Mill.

Lægges ligeledes hertil ca. 30 % for Tab, vil det hele Forbrug i de nærmeste Aar blive *ca. 63 Mill. kWh.*

3. *Landdistrikterne.* For disses Vedkommende er det ikke muligt at skaffe tilsvarende Oplysninger for et større Antal Aar. De Tal, som foreligger, angaar alene det sidste Aar og hidrører kun fra enkelte helt elektrificerede Sogne indenfor nogle af vore større Oplandscentralers Omraade. Disse Tal er følgende:

	Maalere pr. 100 Indb.	Tilsl. kW pr. Maaler	Solgte kWh pr. kW
Lys	10	0,6	125
Kraft	5	5,5	60

Det samlede Antal Indbyggere i Landkommuner (alle udenfor Hovedstaden og Provinsbyerne boende Personer) var 1. Febr. 1921 : 1,883,731, hvilket, naar der gøres Fradrag for de større Stationsbyer, reduceres til ca. 1,850,000. Regnet herefter, faas følgende totale Tal:

	Maalere	Tilslutning	Solgte kWh
Lys	185,000	112,000 kW	14 Mill.
Kraft . . .	93,000	600,000 »	36 »
			50 Mill.

Regnes til Kontrollering af dette Forbrug med den ofte benyttede Gennemsnitsværdi 10 kWh pr. Aar. pr. opdyrket Td Land (1 ha = 1,8 Td Land), faas, idet Danmark har ca. 4,5 Mill. Td. Land dyrket Jord, ca. 45 Mill. kWh, eller

omtrent det samme som ifølge den foregaaende Beregningsmaade. Da Landdistrikterne dog næppe i de nærmest kommende Aar kan regnes at blive fuldt elektrificeret, og da det nuværende Forbrug antagelig ikke er meget over 20 Mill. kWh, ansættes Landdistrikternes Forbrug i de nærmeste Aar til 30 Mill. kWh. Lægges hertil ca. 50 % for Tab, vil det hele Forbrug altsaa beløbe sig til *ca. 45 Mill. kWh.*

For *hele Landet* skulde da det totale Forbrug i de nærmeste Aar blive 193 Mill. kWh, hvilket under Hensyn til stigende Forbrug fra Industriens Side afrundes til *200 Mill. kWh aarlig.*

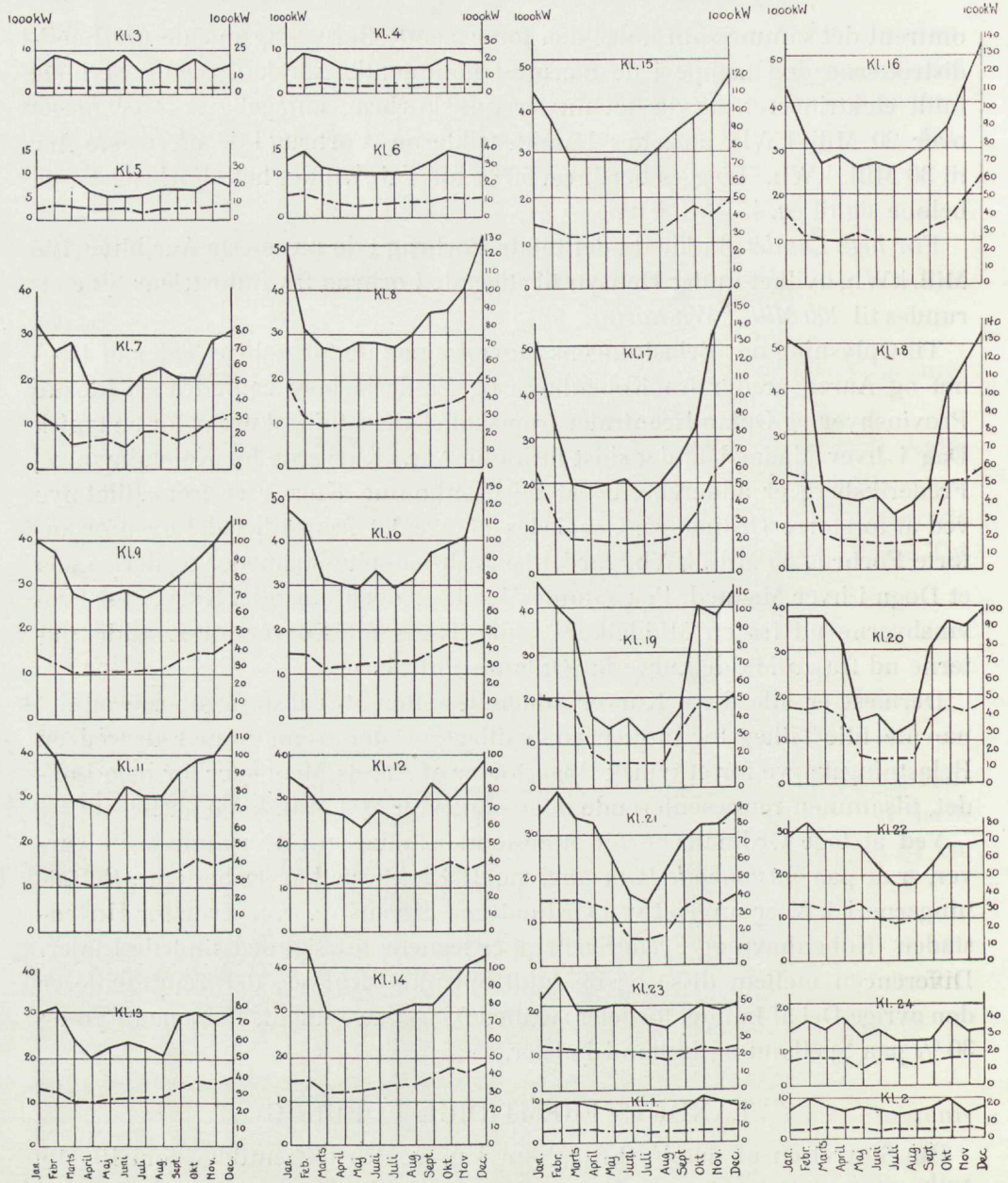
Til Oplysning om Belastningens Størrelse paa de forskellige Tider af Døgnet og Aaret, er der fra København og Frederiksberg samt fra en Række Provinsbyer og Oplandscentraler fremskaffet Belastningskurver for en typisk Dag i hver Maaned af det sidst forløbne Aar. Kurverne for København og Frederiksberg er adderede, og af de fremkomne Kurver er fremstillet nye ved at forstørre Ordinaterne, saaledes at Arealet fremstiller det ovenfor anførte Forbrug 65 Mill. kWh, fordelt paa de enkelte Maaneder og derfra paa et Døgn i hver Maaned. Paa samme Maade er der fremstillet Kurver for Provinsbyerne ud fra en Middelkurve for disse samt Kurver for Landdistrikterne ud fra en Middelkurve for Oplandscentralerne.

Dernæst er alle disse Kurver adderede, efter at Tabsprocenterne og det nævnte lille Tillæg for Industrien er tillagt, og der fremkommer derved en Belastningskurve for et typisk Døgn i hver af Aarets Maaneder for hele Landet, tilsammen repræsenterende de ovennævnte 200 Mill. kWh aarlig.

Ved at tage Ordinaterne for et bestemt Klokkeslet i hver af disse 12 Kurver, er de paa *omstaaende Plan* angivne 24 Klokkesletkurver bestemt. Belastningerne i kW er angivet ved Ordinaterne til venstre. Kurverne for Hovedstaden (København og Frederiksberg) er tegnede for sig med stiplede Linjer. Differencen mellem disse og de fuldt optrukne Kurver, der repræsenterer den øvrige Del af Landet fordeler sig med 55 % paa Jylland, 15 % paa Fyn og 30 % paa Sjælland og Lolland-Falster.

LANDETS FREMTIDIGE FORBRUG

Om Størrelsen af det Forbrug, som kan ventes i Fremtiden (om 10—15 Aar), naar al Belysning og Motordrift saavel i Byerne som paa Landet er overgaaet til at blive elektrisk (men ikke Jernbanedriften), er der giort et Skøn



——— Hele Landets Forbrug.

—·—·— Københavns og Frederiksbergs Forbrug.

Ordinaterne til venstre angiver Belastningerne i kW i de nærmeste Aar.
» » højre » » i kW i Fremtiden (om 10—15 Aar).

paa følgende Maade: Pr. Individ er det antaget, at der kræves *135 kWh* i Hovedstaden (nu ca. 100 kWh), *85 kWh* i Provinsbyerne og Stationsbyerne (nu ca. 60 kWh) og *30 kWh* i Landdistrikterne (nu ca. 20 kWh). Hertil lægges Tabsprocenterne 30 og 50, henholdsvis for Byerne og Landet. Endvidere antages der en vis rimelig Befolkningstilvækst, og man kommer da til følgende Tal:

Hovedstaden	800,000 × 175 = 140 Mill. kWh	(nuv. Indb. ca.	665,000)
Provinsbyer og større Stationsbyer	900,000 × 110 = 100 »	» (»	» » 750,000)
Landdistriktn. ekskl. større Stationsbyer	2,000,000 × 45 = 90 »	» (»	» » 1,850,000)
	Ialt 330 Mill. kWh		

Naar Befolkningstilvæksten til Landdistrikterne er antaget forholdsvis ringere, ligger det i, at Tilvæksten til Byerne erfaringsmæssig er væsentlig større end til Landdistrikterne.

For *Industriens* Vedkommende er der regnet med Elektrificering af de Virksomheder, saavel i Hovedstaden som i Provinsbyer og paa Landet, som ifølge statistisk Aarbog drives ved Damp, og som har mere end 5 Arbejdere, og de Virksomheder, der drives ved Petroleumsmotorer og Gasmotorer, og som har mere end 20 Arbejdere. De mindre Virksomheder regnes ved Elektrificering at være inkluderet i det almindelige Elektricitetsforbrug til Lys og Kraft. Antallet af HK er taget fra Statistisk Aarbog og stiller sig for 1914 saaledes:

Hovedstaden	ca. 46,000 HK
Provinsbyerne	» 42,000 »
Landdistrikterne	» 46,000 »

hvorefter der for 1922 regnes:

Hovedstaden	ca. 50,000 HK
Provinsbyerne	» 45,000 »
Landdistrikterne	» 50,000 »

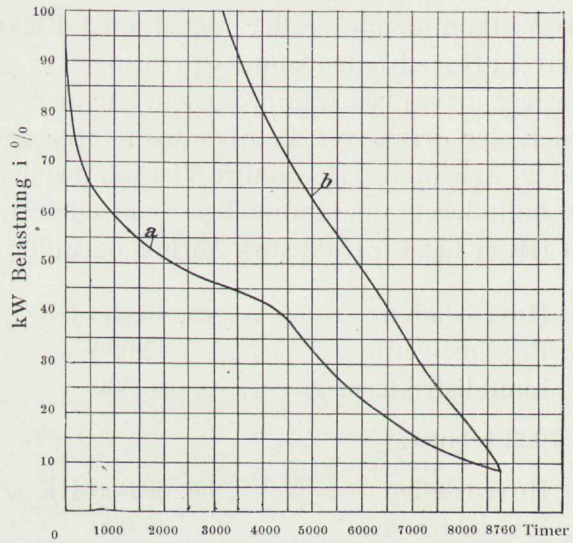
Ved Overgangen til elektrisk Drift vil disse HK, der for en stor Del er installeret i store Dampmaskiner o. lign., blive afløst af et langt større Antal

Elektromotorer, hvis samlede Antal HK kan sættes lig det dobbelte af de nuværende Kraftmaskiners HK. Regnes for disse Elektromotorer en aarlig Benyttelsestid af 500 Timer pr. HK inkl. Tab, kommer man til følgende Tal for Industriens Forbrug:

Hovedstaden	50 Mill. kWh
Provinsbyerne	45 » »
Landdistrikterne	50 » »
Ialt . . .	145 Mill. kWh

Fradrages heri 25 % for saadanne Virksomheder, som paa Grund af Udnyttelse af Damp til Opvarmning el. lign. ikke kan ventes at ville overgaa til

	I de nærmeste Aar	I Fremtiden, 10—15 Aar
Maksimal Belastning (100 %)	63.000 kW	157.000 kW
Minimal » (8 %)	5.000 »	12.500 »



a De forskellige Belastningers Varighed.
b Højst mulige Benyttelsestid for tilført Effekt.

Køb af elektrisk Kraft, samt tillægges for nye Virksomheder, som tilkommer i de næste 10—15 Aar, lige saa meget, faas ialt *145 Mill. kWh aarlig.*

Sammen med ovenstaaende 330 Mill. kWh giver dette som hele Landets Forbrug 475 Mill. kWh pr. Aar, hvilket bl. a. under Hensyn til en forventet større Udnyttelse af Elektriciteten til Kogebrug o. lign. end Tilfældet har været hidtil afrundes til *500 Mill. kWh aarlig.*

Som det vil ses er Forbruget, 500 Mill. kWh aarlig, 2,5 Gange saa stort som det Forbrug, 200 Mill. kWh, der kan ventes i de nærmeste Aar, og der er derfor paa Kurveordinaterne til højre (Side 38) anført en Maalestok, der angiver 2,5 Gange saa store Belastninger i kW som Ordinaterne til venstre, saaledes at man ved Hjælp af denne Maalestok kan overføre Erfaringerne fra Fordelingen af de nærmeste Aars Forbrug til Fordelingen af det fremtidige Forbrug.

Den maksimale Belastning ses af Kurverne at indtræde Kl. 5 Em. i December Maaned og andrager ca. 157,000 kW, hvilket paa den hele Produktion af 500 Mill. kWh giver en Benyttelsestid af ca. 3200 Timer.

Af Klokkesletkurverne er sluttelig konstrueret vedføjede Kurve a (Side 40) over »De forskellige Belastningers Varighed«, idet Ordinaterne angiver de forskellige Belastninger i % af Maksimalbelastningen samt af denne Kurve atter Kurve b over den »Højst mulige Benyttelsestid for tilført Effekt«. Det ses af denne Kurve, at der til en Benyttelsestid af ca. 6500 Timer svarer en Effekt paa ca. 40 % af Maksimalbelastningen, ca. 157,000 kW, altsaa ca. 63,000 kW, hvilken Effekt Udvalget i sin Redegørelse benytter som Udgangspunkt for Beregningerne vedrørende elektrisk Kraftoverføring fra Norge til Danmark. Dog regnes der til at begynde med kun med ca. $^2/_3$ af denne Effekt, nemlig 42,000 kW.

København, i Januar 1922.

A. R. ANGELO *WILLIAM RUNG*

KRAFTOVERFØRING VED HJÆLP AF HØJSPÆNDT JÆVNSTRØM.

A. Jævnstrømssystemet.

Det af Thury opfundne Jævnstrøms-Seriesystem til elektrisk Kraftoverføring, ved hvilket der arbejdes med konstant Strømstyrke, medens Spændingen varierer med Belastningen, har hidtil kun været anvendt i en ret begrænset Omfang, og Grunden hertil maa formentlig søges deri, at Systemet ikke egner sig til Fordeling af elektrisk Kraft til et større Antal Forbrugere, samt at dets Anvendelse — paa Grund af den forholdsvis ringe Spænding og Strømstyrke, for hvilken disse Anlæg hidtil har kunnet udføres — i det væsentlige har været indskrænket til de Tilfælde, hvor det drejede sig om Overføring af en forholdsvis ringe Kraft over en forholdsvis stor Afstand til nogle faa Punkter, hvor enten Kraften kunde forbruges direkte paa Stedet, eller hvorfra den med Fordel kunde fordeles videre ved Hjælp af Vekselstrøm.

Efter de Fremskridt, som Tekniken har gjort i den senere Tid i Henseende til Anvendelse af saavel højere Spænding som større Strømstyrke, synes der imidlertid i det foreliggende Tilfælde, hvor det drejer sig om en Kraftoverføring fra et Punkt i Norge til nogle faa Hovedfordelingspunkter i Danmark, at være gode Betingelser for, at Systemet kan give en tilfredsstillende Løsning, hvorfor det ved de foretagne Undersøgelser er taget med i Betragtning. Dette syntes saameget mere begrundet, som det foreliggende Projekt gaar ud paa at overføre Kraften over en Afstand, der væsentlig overskrider de hidtil forekommende, samt at der paa Grund af Danmarks geografiske Forhold i

ret udstrakt Grad kræves Anvendelse af undersøiske Kabler, ved hvilke Jævnstrømssystemet er særlig fordelagtigt.

Ved en Sammenligning mellem Jævnstrøm og trefaset Vekselstrøm kan nævnes følgende Omstændigheder, der taler til Fordel for Jævnstrømssystemet:

1. De wattløse Strømme bortfalder.
2. Mindre Isolation af Ledningerne end ved Vekselstrøm med samme effektive Spænding.
3. Ingen dielektrisk Hysterese og ganske ringe Koronatab.
4. Anvendelse af to Ledninger i Stedet for tre, altsaa lettere Master og færre Isolatorer.
5. Kabler kan udføres for Spændinger indtil 100—120,000 Volt mod Jord, medens Kabler for trefaset Vekselstrøm kun kan udføres for Driftsspændinger paa indtil 50,000 Volt (mellem Faserne).
6. Ledningernes Selvinduktion og Kapacitet har ingen Indflydelse under normale Driftsforhold.
7. Den ved Vekselstrøm forekommende Risiko med Hensyn til utilstrækkelig Stabilitet ved Paralleldriften bortfalder.
8. Simpelt Apparatanlæg.
9. Simple Anordninger til Forebyggelse af Forstyrrelser i Svagstrømsledninger.

Derimod fordyres Jævnstrømssystemet ved følgende Omstændigheder:

1. Generatorer og Motorer kan kun udføres af en begrænset Størrelse: dette medfører ved store Energimængder og høje Spændinger et meget stort Antal Maskiner i Serie.
2. De mange Kommutatorer kræver en ret omstændig Pasning.
3. Af Hensyn til Betjeningspersonalets Sikkerhed maa der anbringes et isoleret Gulv i Kraftstationerne og Omformerstationerne.
4. Ledningstabene er konstante ved alle Belastninger, hvilket giver en lav Virkningsgrad ved smaa Belastninger.
5. Samarbejde med bestaaende Vekselstrømsanlæg er kun muligt ved Hjælp af Omformeranlæg.
6. Jævnstrøm er kun egnet til ren Kraftoverføring og ikke til Kraftfordeling.

Sidstnævnte Omstændigheder er dog i det væsentlige af økonomisk Art, og deres Indvirken paa det samlede Resultat vil derfor gøre sig gældende gennem de Rentabilitetsberegninger, som er foretaget for saavel Jævnstrømssystemet som Vekselstrømssystemet. Der foreligger imidlertid ved begge Systemer ogsaa Omstændigheder, som ikke kan omsættes i Penge, og som derfor maa tages i Betragtning paa anden Maade. Ved Vekselstrømssystemet forekommer det saaledes, at Generatorer og Synkronmotorer ved Kortslutninger kan falde ud af Synkronisme, medens ved Jævnstrømssystemet en Kortslutning kan foraarsage, at Kommutatorerne giver Anledning til Driftsforstyrrelser, enten paa Grund af Overslag mellem Børsterne eller ved opstaaede Fejl i Maskinerne.

Med Hensyn til den Spænding, som kan anvendes for Generatorer og Motorer, har man faaet oplyst, at Jævnstrømsmaskinerne ved allerede udførte Anlæg højst afgiver 5000 Volt, hvilken Maskinspænding exempelvis er anvendt af Metropolitan Electric Supply Co. i London. medens der til Anlægget Moutiers—Lyon er en Maskine under Udførelse til en Spænding af 7500 Volt (150 Amp.). Efter de Oplysninger, som Udvalget har kunnet fremskaffe, skulde det dog i Øjeblikket være muligt med fuld Driftssikkerhed at bygge Jævnstrømsmaskiner til en Spænding paa 7500 Volt og en Strømstyrke paa 250 Amp.

Hvad angaar selve Driftspændingen, altsaa mellem Lederne indbyrdes i Overføringssystemet, vil man af Hensyn til Anvendelsen af undersøiske Kabler samt til den Omstændighed, at alle Maskiner maa opstilles isoleret fra Jorden, næppe for Tiden kunne paaregne at benytte en højere Driftsspænding end ca. 110 kV mod Jord, hvilket svarer til en Spænding mellem Polerne indbyrdes paa ca. 220 kV. Til Frembringelse af denne Spænding kan passende benyttes ialt 32 serieforbundne Seriegeneratorer, hver med en Spænding paa ca. 7000 Volt.

B. Kraftstationen i Norge.

Denne tænkes enten anlagt i Sydnorge i ca. 80 km Afstand fra Kysten, hvor der, efter Opgivelse fra norsk Side, haves rigelig ubenyttet Vandkraft til Raadighed eller ved det under Udbygning værende Vandkraftanlæg ved Nore eller ved et andet i Forhold til Danmark ikke fjærnere liggende Kraftanlæg.

I Kraftstationen opstilles 9—10 Stk. Vandturbiner, hver paa ca. 10,000 HK og hver direkte koblet til en Generatorgruppe, bestaaende af to sammenkoblede Dobbeltdynamoer (Seriemaskiner), hver paa 7000 V × 250 A = 1750 kW. Hver Gruppe vil altsaa kunne afgive 28,000 V × 250 A = 7000 kW. Med 8 Turbiner i Drift vil Centralen under største Belastning kunne afgive 224,000 Volt ved 250 Amp. eller 56,000 kW. For at Spændingen ikke skal overskride ca. 110 kV mod Jord, jordforbindes Systemets Midtpunkt saavel ved Kraftstationen som ved den i Overføringsledningens yderste Ende beliggende Understation, saaledes at der fremkommer et Treledersystem med Jorden som Nulleder.

Hver Generatorgruppe kobles til Turbineakslen ved en for 110 kV isoleret Kobling, medens de to Dobbeltdynamoer i hver Gruppe sammenkobles ved en for 15 kV isoleret Kobling. For at hindre Overgang fra Dynamoankret til Maskinfundamenterne er yderligere hvert Dynamoanker isoleret fra Akslen, svarende til den fulde af hver Dynamo afgivne Spænding. Endelig er hver Dynamos Fundamentramme opstillet paa Isolatorer for 110 kV, og Mellemrummet mellem Fundamentrammen og Betonfundament udfyldt med Asfalt, som helt dækker og omgiver Isolatorerne, og som, for at sikre Betjeningspersonalet ved Berøring af spændingsførende Dele, strækker sig over hele Maskinsalens Gulv i en Tykkelse af mindst 8 cm. Endvidere vælges alle Afstande saaledes, at Personalet ikke paa en Gang kan berøre to Punkter, mellem hvilke der hersker en farlig Spænding. Af samme Grund erstattes Kranens Kæder med Hampetove, og Haandlamper maa ikke anvendes i Maskinsalen.

Reguleringen foregaar paa den for Thurysystemet karakteristiske Maade ved, at Strømstyrken holdes konstant paa 250 Amp. Denne Regulering kan f. Eks. finde Sted ved automatisk Forskydning af Kommutatorbørsterne, og den maa af Hensyn til Kortslutninger paa Linierne arbejde meget hurtig, saaledes at Børsternes Bevægelse fra den neutrale Zone til Polmidten kan udføres paa ca. 3 Sekunder. Ved hver Maskine opstilles en Apparatsøjle med Betjeningshaandtag for en i Kælderen anbragt Omskifter, som enten kortslutter Maskinen i sig selv eller indskyder den i Seriesystemet; tillige findes et Amperemeter og et Voltmeter i hver Halvdel af Systemet til Kontrol af Isolationstilstanden.

Ved en Kortslutning paa Linien vil den automatiske Børsteforskydning øjeblikkelig reagere og hurtig dreje samtlige Dynamoers Børster hen under Polmidten, hvorefter en automatisk Kortslutter træder i Virksomhed. De ved saadanne Kortslutninger udløste Vandrebølger kan ofte foraarsage Overslag paa Kommutatorerne, hvilket forsaavidt er gunstigt, som hele Anlæget herved straks bliver spændingsløst. For at Kommutatorlysbuerne skal gøre saa lille Skade som mulig, har man ved Anlæget Moutiers—Lyon, som Udvalgets Medlemmer har haft Lejlighed til indgaaende at studere, omkring Kommutatorerne anbragt isolerende Skærme paa den mod Ankerviklingen vendende Side, og ledet Maskinernes Ventilationsluft paa en saadan Maade, at den bidrager til Lysbuernes Udblæsning. Efter de ved dette Anlæg høstede Erfaringer, medfører Overslaget i Almindelighed ingen større Skade paa Maskinerne, og ofte har man umiddelbart efter Kortslutningen kunnet sætte dem i Drift igen uden forudgaaende Afslibning af Kommutatorerne; det er dog ogsaa forekommet, at der er sket Skade paa Ankrene, hvilket har krævet helt nye Viklinger, da den gamle Isolation i Regelen er bleven tør og sprød og ødelægges ved Reparationsarbejdet; alligevel har, efter hvad der er oplyst, et Anker været i Drift siden 1913 uden Reparation. Anskaffes Reserveankre, vil en opstaaet Skade hurtigt kunne udbedres. Driftssikkerheden ansaa man ved nævnte Anlæg for meget tilfredsstillende.

Til Beskyttelse mod Overspændinger kan man ligesom ved Anlæget Moutiers—Lyon anvende Horn forsynet med magnetisk Udblæsning, med hvilke Erfaringerne har været tilfredsstillende; desuden yder overfor Vandrebølger med stejl Front Dynamoernes Magnetbevikling en god Beskyttelse for Ankre og Kommutatorer.

C. Omformerstationerne i Danmark.

Der anlægges i Kjøbenhavn og Aarhus samt eventuelt i Kolding og Odense Omformerstationer, ved hvilke Jævnstrømmen omformes til trefaset Vekselstrøm, og som saadan fordeles videre gennem Luftledninger med 50 kV Spænding. I Henhold til de vedrørende Danmarks Elektricitetsforbrug foretagne Undersøgelser, skal der ved et samlet Forbrug for hele Landet af 42,000 kW leveres: ved Kjøbenhavn 23,000 kW og ved Kolding, Aarhus og Odense tilsammen 19,000 kW. Omformerstationerne vil da passende kunne

udstyres med Omformere paa følgende, med *a*, *b* og *c* betegnede, forskellige Maader:

	a	*b*	*c*
Kjøbenhavn	4×7000 kVA	4×7000 kVA	4×7000 kVA
Aarhus	4×6000 »	2×6000 »	2×6000 »
Kolding		2×6000 »	1×6000 »
Odense			1×6000 »

I hver Station opstilles desuden et komplet Reserveaggregat; cos φ er overalt antaget = 0,85, idet der til Kompensering af yderlig Faseforskydning er tænkt anvendt Synkronmotorer.

Hvert Omformeraggregat bestaar af to sammenkoblede Dobbeltmotorer (Seriemotorer) for 6—7000 Volt 250 Amp., hvilke atter er koblede til en Vekselstrømsgenerator. Der er overalt anvendt isolerende Koblinger paa tilsvarende Maade som i Kraftstationen i Norge. Omdrejningstallet holdes konstant ved automatisk Børsteforskydning, og de forskellige Anordninger er iøvrigt de samme, som nævnt for Kraftstationens Vedkommende. Vekselstrømsgeneratorerne bygges for en Spænding af 6—10 kV, hvilken Spænding optransformeres til 50 kV til Forsyning af Hoved-Fordelingsnettet i Danmark.

Virkningsgraden af Omformerstationerne og Hovedfordelingsledningerne i Danmark vil stille sig som følger:

a. Omformerstationer ved København og Aarhus.

Leveret ved Forbrugscentrerne i Danmark		42,000 kW
Tab i Vekselstrømsledninger 50 kV		1,700 »
Leveret ved Omformerstationerne		43,700 »
» til »	(η = 86,5)	50,500 »
Spændingsforbrug		202,000 Volt (250 Amp)

b. Omformerstationer ved København, Aarhus og Kolding.

Leveret ved Forbrugscentrerne i Danmark		42,000 kW
Tab i Vekselstrømsledninger, 50 kV		400 »
Leveret fra Omformerstationerne		42,400 »
» til »	(η = 86,5)	49,100 »
Spændingsforbrug		196,000 Volt (250 Amp)

TABEL 1.

Enhedspriser for Omformerstationer (220 kV Jævnstrøm—50 kV Vekselstrøm).

Pris i 1000 Kr. dansk.

Omformerstation ved	København Motorer 7000 kW, Generatorer 7000 kVA							Aarhus, Kolding, Odense Motorer 6000 kW, Generatorer 6000 kVA						
Specifikation	Antal	Faste Omkostninger	Antal	Tillæg pr. Maskinaggregat med Transf.	Antal	Tillæg pr. Jævnstrømsledning	Antal	Tillæg pr. 50 kV Ledning	Antal	Faste Omkostninger	Antal	Tillæg pr. Maskinaggregat med Transf.	Antal	Tillæg pr. Jævnstrømsledning	Antal	Tillæg pr. 50 kV Ledning
Omformeraggregat { Motorer			1	525							1	450				
Omformeraggregat { Generator			1	180							1	170				
Trefas. Transf. indendørs $^{10}/_{50}$ kV . . .			1	72							1	65				
Jævnstrøms-Apparater og -Instrumenter med Forbindelsesledninger . . .		100		43		43				100		40		40		
Olieafbryder 50 kV 3-pol. indendørs med Strømtransf.	1	16	1	16			1	16	1	16	1	16			1	16
Olieafbryder 10 kV 3-pol. do. do. .			2	15							2	15				
Ledn.-Adskiller 50 kV 3-pol. do. . .	2	6	2	6			4	12	2	6	2	6			4	12
Ledn.-Adskiller 10 kV 3-pol. do. . .			3	4							3	4				
Stativer, Isolatorer og Forbindelsesledninger		12		6				5		12		6				5
Vand- og Olieanlæg		40		7				5		40		7				5
Instrumentering og Svagstrømsanlæg .		20		5				5		20		5				5
Telefonanlæg		25								25						
Bygning (alt indendørs)		180		120				24		150		100				20
Grund, Fundamenter, Sporanlæg og Planering		120		8						120		6				
Kraner og Transportindretninger . . .		50								45						
Lokalanlæg for Belysning, Smaamotorer, Automater m. v.		25		2				1		25		2				1
Administration, Renter, uforudsete og diverse Udgifter samt Transport og Montage 25 %		150		250		10		20		140		225		10		16
Sum i 1000 Kr. dansk . . .		744		1259		53		88		699		1117		50		80

De i ovenstaaende Tabel indeholdte Udgifter er beregnet efter det Prisniveau, som var gældende i Foraaret 1922.

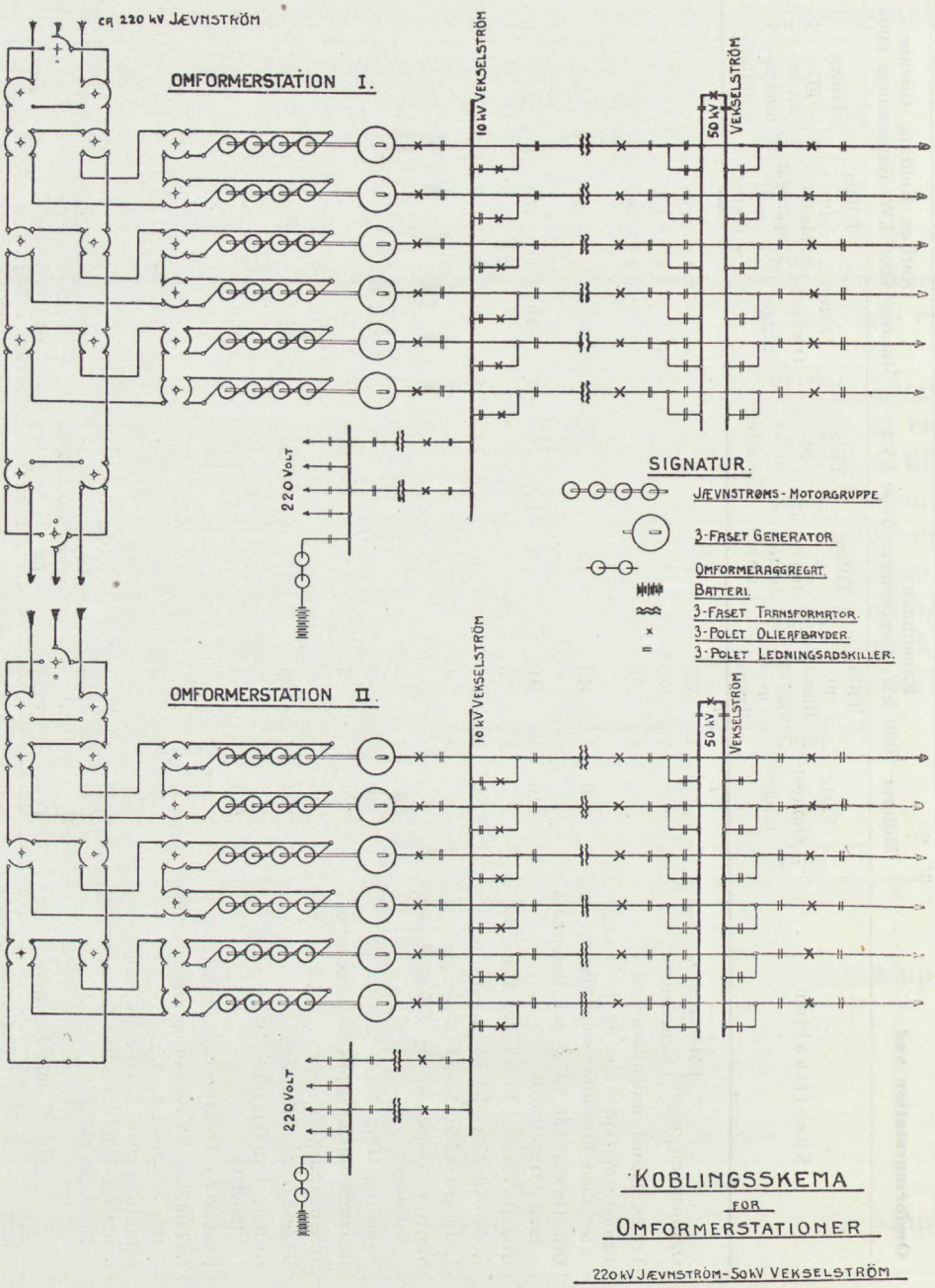

CA 220 kV JÆVNSTRÖM
OMFORMERSTATION I.
10 kV VEKSELSTRÖM
50 kV VEKSELSTRÖM
220 VOLT
SIGNATUR.
JÆVNSTRØMS-MOTORGRUPPE
3-FASET GENERATOR
OMFORMERAGGREGAT.
BATTERI.
3-FASET TRANSFORMATOR.
3-POLET OLIEAFBRYDER.
3-POLET LEDNINGSADSKILLER.
OMFORMERSTATION II.
10 kV VEKSELSTRÖM
50 kV VEKSELSTRÖM
220 VOLT
KOBLINGSSKEMA
FOR
OMFORMERSTATIONER
220 kV JÆVNSTRÖM-50 kV VEKSELSTRÖM

Fig. 1.

c. Omformerstationer ved København, Aarhus, Kolding og Odense.

Leveret ved Forbrugscentrerne i Danmark		42,000 kW
Tab i Vekselstrømsledninger 50 kV		200 »
Leveret fra Omformerstationerne.		42,200 »
» til »	($\eta = 86{,}5$)	48,800 »
Spændingsforbrug		195,000 Volt (250 Amp)

Anlægsudgifterne for Omformerstationerne beregnes paa Grundlag af de i Tabel 1 angivne Enhedspriser.

Fig. 1 viser et Koblingsskema for to Omformerstationer, f. Eks. Kjøbenhavn og Aarhus; en tredie Omformerstation kan tilsluttes til Station II paa tilsvarende Maade, som denne er tilsluttet Station I.

D. Kraftledningerne.

Fra Kraftstationen i Norge kan Strømmen ledes til Omformerstationerne i Danmark ad flere forskellige Veje, nemlig:

1. Fra en Kraftstation i Sydnorge til Norges Sydkyst i Nærheden af Kristianssand over Skagerak til Jyllands Nordkyst i Nærheden af Bulbjerg og videre til Aarhus, og herfra til København, enten over Samsø—Kalundborg eller over Kolding—Nyborg—Korsør.
2. Fra Kraftstationen ved Nore eller andetsteds over den norske Grænse ved Kornsjø ned langs den svenske Vestkyst til Helsingborg og København, og herfra til Aarhus, enten over Kalundborg—Samsø eller over Korsør—Nyborg—Kolding.
3. Over den norske Grænse ved Kornsjø ned langs med den svenske Vestkyst til Gøteborg, og herfra over Læsø til Jylland og via Aarhus, Kolding, Odense og Kalundborg til København.
4. Over den norske Grænse ved Kornsjø ned langs med den svenske Vestkyst til Gøteborg, og herfra i en Sløjfe over Læsø til Jylland, via Aarhus, Samsø, Kalundborg til København, og videre over Helsingborg op langs den svenske Kyst tilbage til Gøteborg.

Angaaende de to sidstnævnte Muligheder skal bemærkes, at den under 3 nævnte ikke alene giver en noget længere Ledningsstrækning end den under

2 angivne, men tillige nødvendiggør Anvendelsen af det lange undersøiske Kabel mellem Gøteborg og Jylland, hvorfor der kan ses bort fra denne Ledningsføring. Kun hvis det drejer sig om en Forsyning af Jylland alene, kunde der blive Tale om at tage Ledningsføring 3 i Betragtning.

Den under 4 angivne Ledningsføring vil medføre, at hele Sløjfen fra Gøteborg til Jylland og over København tilbage til Gøteborg af Hensyn til fornøden Reserve ved det fuldt udbyggede Anlæg maatte omfatte to Ledninger, hvilket i Forbindelse med det lange Kattegatkabel gør, at ogsaa denne Mulighed maa lades ude af Betragtning.

Tilbage bliver saaledes kun de under 1 og 2 nævnte Muligheder. Vedrørende disse skal bemærkes, at den under 1 angivne Ordning, paa Grund af det ca. 130 km lange Kabel, som maa udlægges under Skagerak paa en Vanddybde af indtil 600 m, vil medføre et ikke ubetydeligt Risikomoment. Da imidlertid denne Ledningsføring er særdeles fordelagtig i økonomisk Henseende, tages den med i Betragtning ved Undersøgelserne.

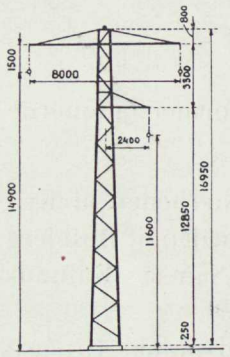


Fig. 2.

Ledningerne paa Land udføres som Luftledninger paa Jærnmaster med Hængeisolatorer (9—10 Stk. pr. Kæde), saaledes som vist paa Fig. 2 og i Overensstemmelse med de for Vekselstrømsledninger for 132 kV angivne Normer. Søkablerne under Skagerak, Bælterne og Kattegat (Samsøbælt) udføres som profiltraadsarmerede Enlederkabler med 16—20 mm Isolation. Ved det fuldt udbyggede Anlæg anvendes der overalt Treleder, saaledes at der foruden Jorden haves en Ledning til Reserve.

Som omtalt under B bliver saavel ved Kraftstationen som ved den yderst beliggende Understation (København eller Aarhus) Systemets Midtpunkt lagt til Jord, saaledes at der opstaar et Treledersystem med Jorden som Nulleder. Dette Arrangement har den Fordel, at Systemets ene Halvdel, selv uden Reserveledningen ved Anvendelse af Jorden, altid vil kunne holdes i Drift og selv om der paa den anden Halvdel skulde forekomme en direkte Jordslutning. Denne vil nemlig kun faa Indflydelse paa den Halvdel, paa hvilken den forekommer, idet den ved Jordslutningen fremkomne Kortslutning vil gaa tilbage til Centralen gennem Jorden.

Med Hensyn til Benyttelsen af Jorden som Tilbageledning, nærer Udvalget ingen særlige Betænkeligheder, idet de Forsøg, som i 1908 afholdtes ved An-

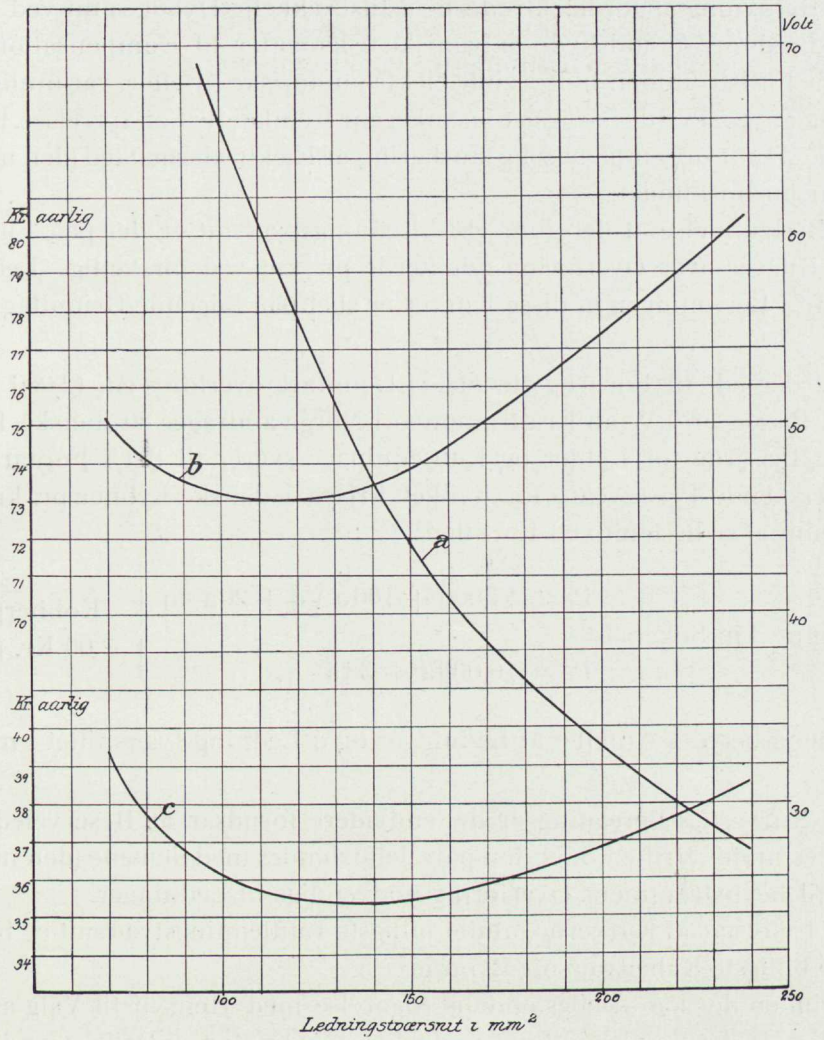


Fig. 3.

a. Spændingstab pr. km Treleder.
b. Aarlige Udgifter pr. km Kabelanlæg bestaaende af 3 Enleder-Kabler.
c. Aarlige Udgifter pr. km Treleder-Luftledningsanlæg.

læget St. Maurice—Lausanne, hvor man i ca. 10,000 Timer benyttede Jorden som Tilbageleder ved en konstant Strømstyrke paa 150 Amp. viste, at det ved Nedgravning af Jordelektroderne i tilstrækkelig Dybde samt ved i Svagstrømskredsene at indskyde galvaniske Elementer til Kompensation af de heri fra Jordstrømmen hidrørende elektromotoriske Kræfter, var muligt fuldstændig at ophæve de i Svagstrømsanlægene fremkaldte Forstyrrelser, ligesom der ikke fandt nogen paaviselig Fortæring af Elektroderne Sted (den negative Pol var jordforbundet).

Til Bestemmelse af det gunstigste Ledningstværsnit er der paa Fig. 3 opstillet Kurver over Overføringsudgifterne pr. km ved forskellige Ledningstværsnit. Beregningen af disse Kurver er sket paa følgende Grundlag:

a. At der ialt til Forbrugsstederne i Danmark overføres ca. 42,000 kW, og at Prisen pr. kW ab Kraftstationen i Norge andrager 80 danske Kroner.
b. At Priserne for Kabler og Luftledninger svarer til det i Foraaret 1922 herskende Prisniveau, for hvilket Prisen i danske Kroner pr. km Luftledning er bestemt ved Formlen:

$$P_l = 14{,}000 + 100\,a\sqrt{q} + 20\,a \cdot q$$

og pr. km Søkabel:

$$P_k = 16{,}000\,a + 38\,a \cdot q,$$

Kobberpris 2,00 Kr. pr. kg.

idet a betyder Antallet af Ledninger og q Ledningstværsnittet i mm².

Ved Kurvernes Beregning er det endvidere forudsat, at Reserveledningen benyttes under Driften, idet den parallelforbindes med den ene (den negative) af de til Jævnstrømmens Overføring nødvendige to Ledninger.

Det fremgaar af Kurverne, at det billigste Luftledningstværsnit er 150 mm² og det billigste Kabeltværsnit 125 mm².

Forinden der kan træffes endelig Afgørelse med Hensyn til Valg af Tværsnittet, maa det imidlertid først undersøges, hvor stor en Driftsspænding, der ved de forskellige Tværsnit behøves til Overføring af 42,000 kW til Forbrugsstederne i Danmark.

Kabel under Skagerak.

Tracé Aarhus—Kolding—Nyborg—Korsør—København.
553 km Luftledning. 152 km Kabel.

Kabeltværsnit	125	125	185	mm²
Luftledningstværsnit	150	185	185	»
Spændingsforbrug af Omformerstationer	196,000	196,000	196,000	Volt
Spændingstab i Ledninger	32,600	28,200	25,400	»
Spænding ved Kraftstation	228,600	224,200	221,400	»
Ledningsudgifter pr. kW-Aar	79,6	81,1	82,4	Kr.

Kabel under Skagerak.

Tracé Aarhus—Samsø—Kalundborg—København.
375 km Luftledning. 190 km Kabel.

Kabeltværsnit	125	125	185	mm²
Luftledningstværsnit	150	185	185	»
Spændingsforbrug af Omformerstationer	202,000	202,000	202,000	Volt
Spændingstab i Ledninger	25,000	23,400	20,000	»
Spænding ved Kraftstation	227,000	225,400	222,000	»
Ledningsudgifter pr. kW-Aar	64,2	64,8	66,2	Kr.

Ledning gennem Sverige.

Tracé København—Korsør—Nyborg—Kolding—Aarhus.
958 km Luftledning. 37 km Kabel.

Kabeltværsnit	125	125	185	125	240	mm²
Luftledningstværsnit	150	185	185	240	240	»
Spændingsforbrug af Omformerstationer	196,000	196,000	196,000	196,000	196,000	Volt
Spændingstab i Ledn.	44,000	36,400	35,800	28,600	27,600	»
Spænding v. Kraftstat.	240,000	232,400	231,800	224,600	223,600	»
Ledningsudgifter pr. kW-Aar	87,2	88,5	89,2	94,2	95,2	Kr.

TABEL 2. **42,000 kW ved Forbrugscentrerne i Danmark.**

Priser i Kr. dansk.

Anlægsudgifter	Kabel under Skagerak 185 mm²				Ledning gennem Sverrig 240 mm²			
	Over Samsø Mill. Kr.	Over Nyborg Mill. Kr.	Over Nyborg Mill. Kr.	Over Nyborg Mill. Kr.	Over Samsø Mill. Kr.	Over Nyborg Mill. Kr.	Over Nyborg Mill. Kr.	Over Nyborg Mill. Kr.
Ledningsanlæg Jævnstrøm 2×110 kV . .	27,5	29,5	29,5	29,5	32,8	35,2	35,2	35,2
Jordledning.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Omformerstat. v. Københ. 5×7000 kVA	7,8	7,8	7,8	7,8	7,9	7,9	7,9	7,9
— - Kolding 3×6000 »		4,5				4,5		
— - — 2×6000 »			3,4				3,4	
— - Aarhus 5×6000 »	7,0			7,0	6,9			6,9
— - — 3×6000 »		4,5	4,5			4,5	4,5	
— - Odense 2×6000 »			3,0				3,9	
Telefonanlæg anslaas til	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1 2
Ledningsanlæg Vekselstrøm 50 kV . . .	6,0	3,0	1,7	6,0	6,0	3,0	1,7	6,0
Anlægsudgifter ialt . . .	49,6	50,6	51,2	51,6	54,9	56,4	57,0	57,3
Aarlige Udgifter								
	MW / Mill. Kr.	MW / Mill. Kr.	MW / Mill. Kr.	MW / Mill. Kr.	MW / Mill. Kr.	MW / Mill. Kr.	MW / Mill. Kr.	MW / Mill. Kr.
Aarlige Udgifter 10 % af Anlægsudg. .	4,96	5,06	5,12	5,16	5,49	5,64	5,70	5,73
Tab i Vekselstrømsledninger	1,7	0,4	0,2	1,7	1.7	0,4	0,2	1,7
Leveret fra Omformerstationer	43,7	42,4	42,2	43,7	43,7	42,4	42,2	43,7
Leveret til Omformerstationer	50,5	49,1	48,6	50.5	50,5	49,1	48,8	50,5
Tab i Jævnstrømsledninger	5,0	6,4	6,4	6,4	5,8	6,8	6,8	6,8
Leveret fra Kraftstationen i Norge. . .	55,5	55,5	55,0	56,9	56,3	55,9	55,6	57,3
Køb af Effekt i Norge à 80 Kr. pr. kW Aar	4,43	4,43	4,40	4,55	4,50	4,47	4,45	4,58
Aarlige Udgifter ialt . . .	9,39	9,49	9,52	9,71	9,99	10,11	10,15	10,31
Aarlige Udgifter Kr. pr. kW Aar.	224	226	226	231	237	240	242	246

De i ovenstaaende Tabel indeholdte Udgifter er beregnet efter det Prisniveau, som var gældende i Foraaret 1922.

Ledning gennem Sverige.

Tracé København—Kalundborg—Samsø—Aarhus.
780 km Luftledning. 75 km Kabel.

Kabeltværsnit	125	125	185	125	240	mm²
Luftledningstværsnit .	150	185	185	240	240	»
Spændingsforbrug af Omformerstationer .	202,000	202,000	202,000	202,000	202,000	Volt
Spændingstab i Ledn.	38,400	32,000	30,400	25,800	23,400	»
Spænding v. Kraftstat.	240,400	234,000	232,400	227,800	225,400	»
Ledningsudgifter pr. kW-Aar	78,6	80,5	81,0	84,5	85,8	Kr.

Som det fremgaar af disse Udregninger, vil de mest økonomiske Tværsnit, 125 mm² for Søkablerne og 150 mm² for Luftledningerne, ikke ved de forekommende Ledningslængder kunne anvendes til Overføring af 42,000 kW til Forbrugsstederne i Danmark, uden at Spændingen i Kraftstationen overskrider den forudsatte Værdi paa 220—224,000 Volt. Da Flertallet af Udvalget er af den Anskuelse, at denne Spænding ikke paa nuværende Tidspunkt tør overskrides, maa man ifølge Beregningerne for Skagerakprojektet vælge et Tværsnit paa 185 mm² og for Projektet med Ledning gennem Sverige 240 mm², saavel for Kablerne som for Luftledningerne. Af Beregningerne ses det imidlertid, at Overføringsudgifterne vil kunne formindskes med henholdsvis ca. 3 og 8 Kr. pr. kW-Aar, ifald man ved en eventuel Udførelse af Projekterne tør forhøje Spændingen i Kraftstationen saameget, at de billigste Tværsnit bliver tilstrækkelige.

For at afgøre, hvorvidt man i Danmark skal føre Ledningerne over Samsø—Kalundborg eller over Kolding—Nyborg—Korsør, samt for at kunne bestemme paa hvilke Steder, der bør oprettes Omformerstationer, er der i Tabel 2 opstillet Anlægs- og Driftsoverslag over de forskellige Tilfælde. Det fremgaar af denne Tabel, at Udgifterne pr. kW-Aar kun varierer forholdsvis lidt, idet de for Skagerakprojektets Vedkommende ligger mellem 224 og 231 Kroner, og for Projektet med Ledning gennem Sverige ligger mellem 237 og 246 Kroner pr. kW-Aar.

For Skagerakprojektets Vedkommende ses det, at Linien over Samsø med

Omformerstationer i København og Aarhus giver den billigste Løsning; ganske vist er Nyborglinien med Omformerstationer baade i Aarhus, Kolding og København og eventuel ogsaa i Odense, kun en Ubetydelighed dyrere, og forsaavidt fordelagtigere, som Længden af de undersøiske Kabler indenfor dansk Omraade bliver væsentlig kortere, men de forskellige Udviklingsstadier vil ikke stille sig saa gunstigt som ved Samsølinien, og især vil det første Udbygningsstadium med kun en Omformerstation i Aarhus og med et Driftsmaskineri paa 2×6000 kVA (plus en Reservemaskine) give en ret kostbar Drift. Udvalget har derfor lagt Samsølinien til Grund for det endelige Projekt.

For Projektet med Luftledning gennem Sverige viser Tabellen, at ogsaa her giver Linien over Samsø den billigste Løsning; imidlertid kræver denne Linie en Spænding i Kraftstationen paa 225,400 Volt, altsaa noget over den forudsatte højst tilladelige Værdi, og Udvalget har derfor foretrukket Linien over Nyborg med Omformerstationer i København, Aarhus og Kolding, idet herved tillige opnaas, at Længden af de nødvendige undersøiske Kabler kun andrager 37 km i Stedet for 75 km ved Samsølinien. Desuden stiller Nyborglinien sig noget gunstigere med Hensyn til de forskellige Udviklingstrin. Medens der for Samsøliniens Vedkommende kun findes to Hovedudviklingstrin, nemlig:

1. Forsyning af Omraadet udfra en Omformerstation ved København alene,
2. tillige Forsyning af Omraadet udfra en Omformerstation ved Aarhus,

findes der for Nyborgliniens Vedkommende tre saadanne, idet Linien paa første Stadium føres til København, i andet Stadium forlænges til Kolding og i tredie Stadium til Aarhus.

UDVIDELSESMULIGHEDER.

Som det vil fremgaa af det forangaaende, er det muligt ved Anvendelse af en Spænding paa 220—224 kV og en konstant Strømstyrke paa 250 Amp. at overføre 42,000 kW til Forbrugscentrerne i Danmark; at anvende en endnu højere Spænding eller en større Strømstyrke, vil med de for Tiden foreliggende Erfaringer næppe være tilraadeligt, saaledes at den i Norge producerede Energi paa ca. 56,000 kW for Øjeblikket maa anses for at være en højere Grænse for den Effekt, som vil kunne aftages gennem en enkelt Ledningsan-

læg. Det synes dog ikke udelukket, at man i Fremtiden vil kunne naa op paa en Spænding af 300 kV og en Strømstyrke paa 300 Amp., hvorved der gennem et enkelt Ledningsanlæg vil kunne aftages 90,000 kW fra Norge, men dette vil ikke kunne ske ved Udvidelse af det ovenfor projekterede Anlæg, hvor Jævnstrømsmaskinerne er dimensionerede for 250 Amp.; ved at forhøje Spændingen for dette Anlæg til 300 kV ved Tilføjelse af flere Maskiner, vil man dog kunne aftage 75,000 kW fra Norge, hvilket svarer til ca. 58,000 kW, leveret ved Forbrugscentrerne i Danmark.

At forøge den overførte Energimængde udover denne Grænse, vil kun være muligt, ved at der anlægges et helt nyt Kraft- og Ledningsanlæg parallelt med det første. Det allerede forhaandenværende Lednings- og Kraftanlæg, f. Eks. med Ledning gennem Sverige, vil da udelukkende kunne anvendes til Forsyning af Kolding og Aarhus, medens det nye Anlæg udelukkende anvendes til Forsyning af København. Den nye Ledning behøver kun at udføres som Toleder, idet den allerede forhaandenværende Reserveledning kan være fælles for begge Ledninger. For at kunne overføre de lavere Belastninger paa den mest økonomiske Maade, bør begge Ledninger forbindes til begge Centraler, saaledes at een Central kan overtage Belastningen alene. Paa denne Maade erholdes ogsaa en god Reserve, idet Maskinerne paa den ene Central da kan optræde som Reservemaskiner paa den anden.

Ansættes atter Strømstyrken til 250 Amp. og Spændingen ved Kraftanlægene i Norge til 300 kV, vil der fra disse ialt kunne aftages 150,000 kW, saaledes at der med Ledninger gennem Sverige paa det ved København liggende Forbrugscentrum vil kunne afgives ca. 57,000 kW, og paa de under Kolding—Aarhus hørende Forbrugscentrer ca. 58,000 kW, idet Reserveledningen normalt kobles parallelt med en af Ledningerne til Aarhus. Virkningsgraden af hele Anlæget bliver i dette Tilfælde ca. 77 %.

En tilsvarende Udvidelse vil selvfølgelig kunne finde Sted ved Overføringen over Skagerak.

København, i November 1922.

A. R. ANGELO *WILLIAM RUNG*

BESKRIVELSE AV OG OMKOSTNINGSOVERSLAG FOR TRANSFORMATOR- OG KOBLINGSSTATIONER FOR TREFASE-OVERFØRINGEN.

Ved behandlingen av transformator- og koblingsstationer har man — da det handler sig om meget høie spændinger — fulgt det princip at anvende forholdsvis faa men store aggregater, rikelig dimensionerte, saavel i mekanisk som elektrisk henseende. Endvidere har man lagt vægt paa at der erholdes enkle og oversiktlige arrangements, uten dog at gi avkald paa den for en rationel drift nødvendige elasticitet hvad koblingsmuligheter angaar.

Man mener paa denne maate at ville erholde den størst mulige driftssikkerhet paa samme tid som anlægsomkostningerne holdes paa en rimelig høide.

Spørsmaalet om utendørs kontra indendørs apparater har været gjenstand for omhyggelig overveielse og man er klar over, at begge disse former er fuldt anvendelige, selv ved en saa høi driftsspænding som 220 kV. Et av de svakeste punkter ved anlæg for meget høie spændinger er gjennemføringerne og av disse trænger man ved utendørs anlæg et minimum. De i betragtning kommende transformatorer og strømbrytere indeholder saa store oljemængder, at brandfaren ved indendørs arrangement maa sies at være av meget mere alvorlig art end ved anlæg for lavere spændinger, saaledes at en oljebrand i en transformator indebærer fare for en længred riftsstands. Ved en utendørs station derimot vilde en saadan brand neppe ha særlig alvorlige følger andet end for de nærmest liggende apparater.

Utendørssystemet er væsentlig mere elastisk hvad utvidelser angaar, en sak

av ikke liten praktisk betydning, specielt ved et projekt som det det her handler sig om.

De erfaringer man i Amerika har gjort med utendørs stationer er saa gunstige, at man der i de senere aar ved anlæg for høie spændinger som regel anvender dette system.

Utvalget mener, at de utendørs anlæg ogsaa i det her omhandlede tilfælde er mindst likesaa driftssikre og hensigtsmæssige som indendørs, og da utendørs arrangements falder billigst, har man baseret alle omkostningsoverslag herpaa.

Efter ovenstaaende mere generelle bemerkninger vil man gaa over til i korthed at omtale utførelsen ved de forskjellige alternativer.

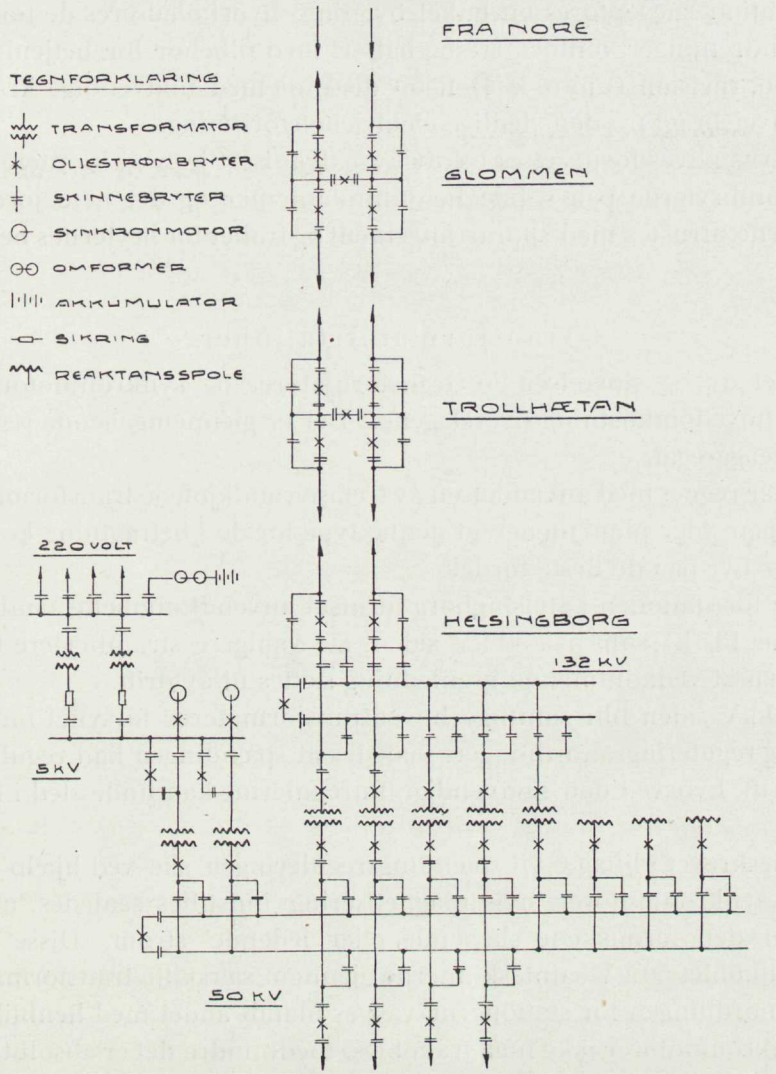
ALTERNATIV C. 132 kV.

Koblingsstationer.

Ved alt. C Ia og C Ib, som omfatter en enkel trefase-linje, henholdsvis fra Glommen og Nore til Helsingborg, har man ikke fundet det begrundet at regne med nogen koblingsstationer ute paa linjen, men denne gaar ubrudt fra generatorstationen i Norge til understationen i Helsingborg. Ved alle de øvrige utbygningstrin i alternativ C derimot, hvor det dreier sig om en dobbeltlinje fra Nore til Helsingborg, en avstand av vel 600 km, er der regnet med en koblingsstation hver i Glommen og Trollhättan.

Som det vil fremgaa av koblingsschema fig. 1, er der i hver ledning forutsat to oljestrømbrytere og en i forbindelsen mellem de to linjer. Disse brytere er helautomatiske og forbundne med en differantial- og tilbakestrømsrelæutløsning, saaledes at ved feil paa en ledningssektion blir denne straks utkoblet i begge ender. Driften paagaar derfor uten nogen stands over den anden linje i vedkommende ledningssektion. Disse brytere maa ha en brytningseffekt tilsvarende den største i systemets forekommende kortslutningseffekt. De tænkes forsynet med forkoblingsmotstande.

Samtlige brytere forsynes med skinnebrytere i serie og shunt, saaledes at de kan utkobles og revideres mens begge linjer er i drift.



ENDOLET
KOBLINGSSKEMA
ALT. C IV
132 kV

Fig. 1.

Ved stationerne opføres en enkel bygning, hvori pladseres de nødvendige kontrolindretninger, omformere og batteri med tilbehør for betjeningsstrøm og telefon, revisionsrum o. l. Den for disse øiemed nødvendige kraft forutsættes tilveiebragt fra den stedlige elektricitetsforsyning.

Alle jernstativer forutsættes utført av galvanisert jern og monteres i likhet med strømbryterne paa solide betonfundamenter og det hele jordes godt. Stationerne utrustes med sporarrangement og traller for bryternes bekvemme flytning.

Transformatorstationer.

Antallet av og størrelsen av transformatorer og synkronmotorer fremgaar av hovedomkostningsoverslagene. Der er gjennemgaaende regnet med et reserveaggregat.

Man har regnet med anvendelsen av trefase vandkjølede transformatorer av kjernetypen, idet man mener at denne type for de i betragtning kommende størrelser byr paa de fleste fordele.

Der er for stationen i Helsingborg forutsat anvendt dobbelte samleskinner saavel paa 132 kV som paa 50 kV siden. De vigtigere strømbrytere kan revideres uten at vedkommende grenledning sættes ut av drift.

Paa 50 kV siden blir samtlige hovedtransformatorer forsynet med avtapninger og reguleringsanordninger, saaledes at spændingen kan reguleres 5 % under drift, hvorved den nødvendige finregulering kan finde sted i hver station.

Som beskrevet i bilag 6 vil spændingsreguleringen ske ved hjælp av tomtløpende synkronmotorer, hvis magnetisering indstilles saaledes, at maskinerne tar den forønskede slæpende eller ledende strøm. Disse motorer tænkes tilkoblet 50 kV samleskinnerne gjennem særskilte transformatorer.

Relæanordningen for stationerne vælges blandt andet med henblik paa, at disse synkronmotorer ikke maa frakobles, medmindre det er absolut paakrævet av hensyn til motorernes sikkerhet, idet en saadan frakobling kan virke meget generende paa spændingsreguleringen.

De likeledes for spændingsreguleringen forutsatte reaktancespoler indrettes for tilkobling til hovedtransformatorernes sekundærspænding og forsynes

med automatisk ind- og utkobling. Det bemerkes, at disse spoler ikke tænkes anvendt i den daglige drift, men kun er at betragte som en sikkerhetsanordning for at forhindre for stor spændingsstigning ved eventuel frakobling av al belastning og av de ovenfor nævnte synkronmotorer og som en hjælp ved igangsætning efter en driftsstands. De vil i tilfælde let kunne indkobles i 2 eller 3 trin, saaledes at sterke støt undgaaes.

Der installeres et eget lokalanlæg med omformere og batteri av tilstrækkelig størrelse til drift av kraner, vand- og oljeanlæg, brytere, relæer etc. samt til opvarmning av oljestrømbrytere og betjeningsrum.

Hvad der under koblingsstationer er sagt angaaende oljebrytere gjælder ogsaa her. Endvidere bemerkes, at alle oljestrømbrytere anordnes for elektrisk opvarmning, saaledes at oljen, selv i den koldeste vintertid, holdes flytende.

Utvalget er av den opfatning, at det under de i Skandinavien raadende atmosfæriske forholde er fordelagtigst at bortse fra anvendelsen av andre overspændingsbeskyttelsesanordninger end jordline og for 50 kV siden ogsaa jordslutningsspoler (Petersenspoler e. l.), men til gjengjæld overalt at kræve ekstra høi isolationsstyrke.

Der maa opføres passende bygninger for reparationsverksteder, omformere, batterier, personalrum o. l.

Stativer o. l. blir utført som for koblingsstationerne omtalt, likesaa sporarrangement og andre transportindretninger.

Stationerne forutsættes vel planeret og dræneret, saaledes at regn og snevand raskt vil bli bortledet.

ALTERNATIV D I—Va. 132 kV.

Hvad der foran er sagt under alternativ C gjælder praktisk talt i enhver henseende ogsaa for alternativ D, 132 kV, dog er der, som i fig. 2 vist, for dette alternativ i alle stationer regnet med dobbelte samleskinner, saavel primært som sekundært. Der blir i transformatorstationen ved Kjøbenhavn, hvor der skal nedtransformeres til baade 50 og 30 kV, installert en fælles reservetransformator med 2 sekundærviklinger, en for 50 kV og en for 30 kV.

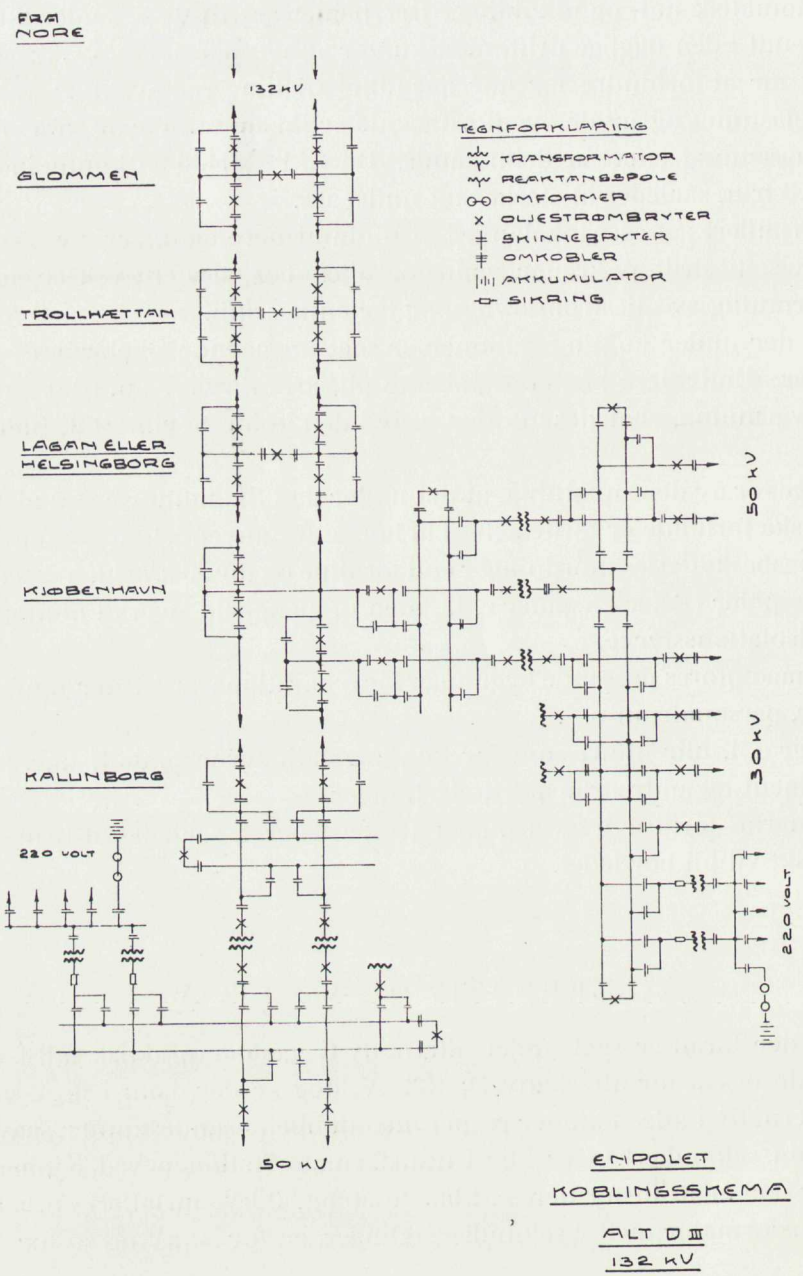

FRA NORE
132 kV
GLOMMEN
TROLLHÆTTAN
LAGAN ELLER HELSINGBORG
KJØBENHAVN
KALUNBORG
220 VOLT
50 kV
TEGNFORKLARING
TRANSFORMATOR
REAKTANSSPOLE
OMFORMER
OLJESTRØMBRYTER
SKINNEBRYTER
OMKOBLER
AKKUMULATOR
SIKRING
50 kV
30 kV
220 VOLT
EMPOLET
KOBLINGSSKEMA
ALT D III
132 kV

Fig. 2.

ALTERNATIV D Vb. 220 kV.

Koblingsstationer.

Linjen er forutsat utført med 4 ledere, hvorav den ene som reserve. For at faa fuld nytte av denne reserveledning er der tænkt anlagt koblingsstationer ved Glommen, Trollhättan og Lagan eller Helsingborg. Ved hjælp av disse kan hvilkensomhelst leder i hvilkensomhelst sektion gjøres spændingsløs, saaledes at den kan revideres, mens ledningen forøvrig er i drift.

For at undgaa et stort antal av de meget dyre 220 kV brytere har man regnet med den i fig. 3 viste kobling. Denne gaar ut paa, ved hjælp av en eller to flytbare enpolede oljestrømbrytere, som kan indkobles i hvilkensomhelst linje, at bryte ledningen, mens den egentlige kobling utføres ved hjælp av enpolede skinnebrytere.

Forøvrig utstyres disse stationer omtrent i likhet med de for 132 kV projekterne.

Transformatorstationer.

Ogsaa ved 220 kV har man fundet det riktigst at regne med vandkjølede transformatorer. Derimot er man av den mening, at det for disse vil være gunstigst at anvende enfase typen istedetfor trefase, som ved 132 kV forutsat. Ved de store aggregater, som man ved 220 kV finder bør anvendes, blir nemlig vægterne av trefasetransformatorer saa store, at transformatorerne blir vanskelige at behandle, likesom kjølingen av jernkjernerne byr paa vanskeligheter, som i det væsentlige undgaaes ved enfasetypen.

Transformatorerne i stationen ved Kjøbenhavn faar to sekundærviklinger, en for 50 og for 30 kV.

Der forutsættes i hver station installert 4 enfase transformatorer, hver med 20 MVA ydelse, herav den ene i reserve, alle forsynet med nødvendige apparater, som vist paa koblingsschemaet. Hvert driftsaggregat faar altsaa en ydelse av 60 MVA.

Da der i hver station saaledes blir kun et transformatoraggregat i drift, har man ikke fundet det berettiget at anvende mere end et sæt samleskinner. Dette sæt forutsættes imidlertid ekstra vel isolert. Skulde det mot forventning vise sig paakrævet, er der adgang til med smaa omkostninger at indsætte en fjerde skinne, saaledes at en skinne kan revideres ad gangen.

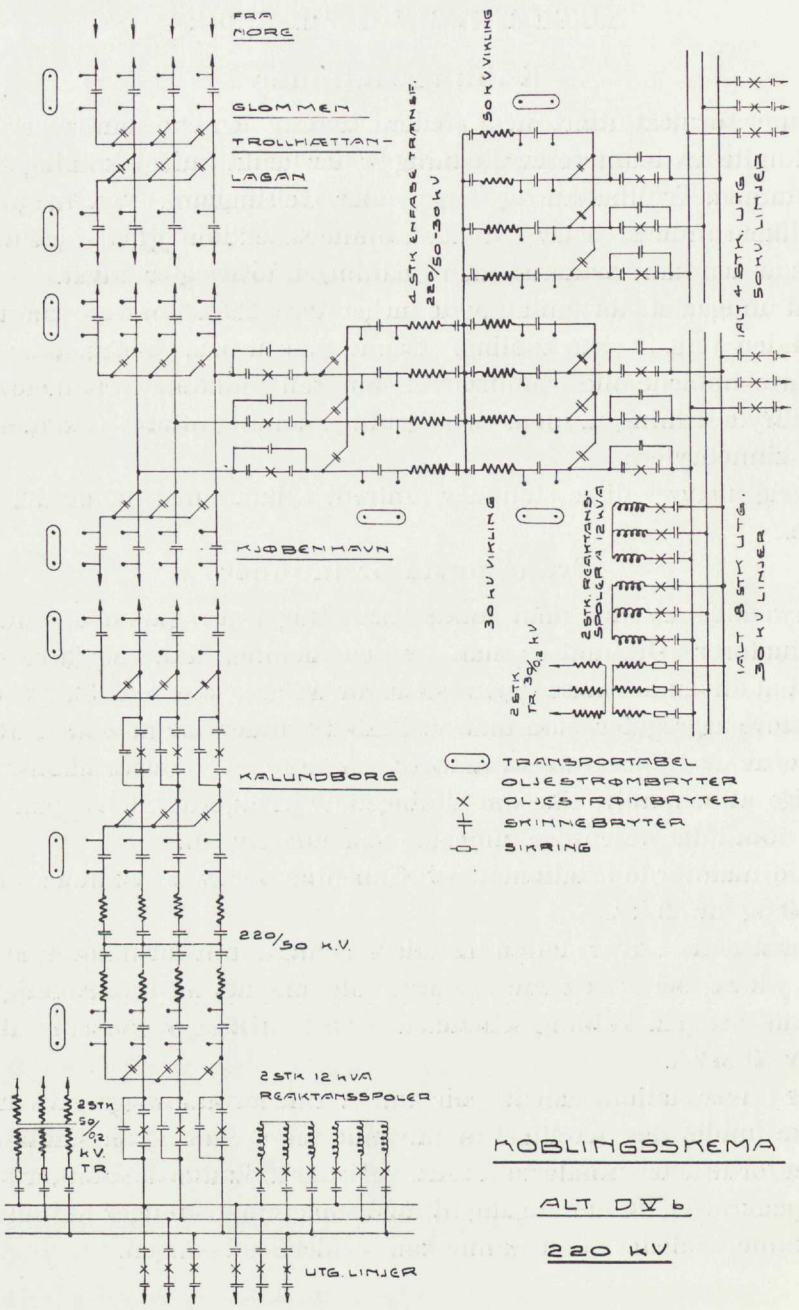

FRÅN NORGE
GLOMMEN
TROLLHÄTTAN-
LAGAN
4 STK ENFASE TRANSF. 220/50-30 KV
50 KV VIKLING
IALT 4 STK. UTG. 50 KV LINJER
KJØBENHAVN
30 KV VIKLING
25 STK REAKTANS-SPOLER Å 12 KVA
25 STK TR. 30/2 KV
IALT 8 STK UTG. 30 KV LINJER
KALUNDBORG
TRANSPORTABEL
OLJESTRØMBRYTER
OLJESTRØMBRYTER
SKINNEBRYTER
SIKRING
220/50 K.V.
25 STK 50/0,2 K.V. TR
25 STK 12 KVA REAKTANSSPOLER
UTG. LINJER
KOBLINGSSKEMA
ALT D V b
220 KV

Fig. 3

For ikke at faa et uforholdsmæssig stort antal av de svære strømbrytere, har man ogsaa i disse stationer regnet med de i koblingsstationerne forutsatte arrangements med en kombination av enpolede skinnebrytere og flytbare enpolede strømbrytere.

Forøvrig er stationerne tænkt utstyrt i alt væsentlig som ved 132 kV alternativerne.

OMKOSTNINGSOVERSLAG.

Omkostningsoverslagene er basert paa prisniveauet vaaren 1922, idet man har indhentet priser paa alle viktigere dele, saavel fra amerikanske som europæiske firmaer. Disse priser er meget forskjellige, men utvalget mener, at de i overslaget benyttede priser i det store og hele er paa den sikre side. Da samtlige summer er opført i hovedomkostningsoverslagene for de forskjellige alternativer, vil her kun anføres nogen eksempler, hvilke imidlertid vil gi et godt indblik i hvorledes omkostningsoverslagene for koblings- og transformatorstationerne er opstillet.

Kristiania, i december 1922.

EIV. HANSSEN *JACOB NISSEN*

ALTERNATIV C.

Omkostningsoverslag for utendørs transformatorstation ved Helsingborg, 132 kV.

Pris i 1000 kr. dansk.

	Antal	Faste grund-om-kost-ninger	Tillæg pr. Stykke										Anmerkning
			Antal	132 kV linje ind- eller utgaa-ende	Antal	50 kV linje utgaa-ende	Antal	Transf. 20 MVA	Antal	Reak-tans-spole 12 MVA	Antal	Syn-kron-motor m. transf. 7,5 MVA	
Trefasetransf. 132/50 kV vandkjølet							1	180					
» 50/10 og 10/0,2 kV »	2	5							1	70	1	70	Resp. Reak-tanspoler
Synkronmotor											1	170	
Oljestrømbr. 132 kV 3-pol. m. strømtransf.	1	40	1	40			1	40					
» 50 » » » »	1	16			1	16	1	16	1	16	1	16	
» 10 » » » »	2	5									2	15	Indendørs
Skinnebryter 132 » »	2	10	5	25			2	10	2	6			
» 50 » »	2	6			3	9	3	9			2	6	
» 10 » »	2	1									4	5	Indendørs
Jernstativer, isolatorer, forbindelsesledninger		20		12		6		15		6		6	
Vand- og oljeanlæg		40		5		5		10		5		5	
Instrumentering samt svakstrømsanlæg . . .		20		4		5		4				5	
Telefonanlæg		25											
Bygning for synkronmotorer, vand- og olje-anlæg, instrumentering og verksted . . .		150										50	
Tomt, sporanlæg, planering og fundamenter for stativer, transformatorer, brytere m. m.		100		5		5		12		5		12	
Kraner og transportanlæg		45											
Lokalanlæg for belysning, smaamotorer, automater m. v.		25		1		1		1		2		2	
Administration, renter, uforudseet, diverse samt transport, emballage og montage ca. 25 %		132		23		13		73		30		88	
Sum . . .		640		115		60		370		140		450	

ALTERNATIV D.

Omkostningsoverslag for utendørs transformatorstation ved Kjøbenhavn, 132 kV.

Pris i 1000 kr. dansk.

	Antal	Faste grund-om-kost-ninger	Tillæg pr. Stykke										Anmerkning
			Antal	132 kV linje ind- eller utgaa-ende	Antal	50 kV linje utgaa-ende	Antal	Transf. 25 MVA	Antal	Reak-tans-spole 12 MVA	Antal	Syn-kron-motor m. transf. 7,5 MVA	
Trefasetransf. 132/50 kV vandkjølet							1	200					
» 50/10 » »	2	10							1	70	1	70	Resp. Reaktansspoler
Synkronmotor											1	170	
Oljestrømbr. 132 kV 3-pol. m. strømtransf.	1	40	1,5	60			1	40					
» 50 » » » »	2	32			1	16	1	16	1	16	1	16	
» 10 » » » »											2	15	Indendørs
Skinnebryter 132 » «	2	10	5	25			2	10					
» 50 » »	12	36			3	9	3	9	2	6	2	6	
» 10 » »											3	4	Indendørs
Jernstativer, isolatorer. forbindelsesledninger		20		12		6		15		6		6	
Vand- og oljeanlæg		40		5		5		12		5		5	
Instrumentering samt svakstrømsanlæg. . .		20		4		5		4				5	
Telefonanlæg		25											
Bygning for synkronmotor, vand- og oljeanlæg, instrumentering og verksted . . .		150										50	
Tomt, sporanlæg, planering, fundamenter for stativer, transformatorer, brytere m. m.		100		5		5		15		5		12	
Kraner og trantportanlæg		45											
Lokalanlæg for belysning, smaamotorer, automater m. v.		25		1		1		1		2		2	
Administration, renter, uforutseet, diverse samt transport, emballage og montage ca. 25 %		147		28		13		78		30		89	
Sum . . .		700		140		60		400		140		450	

ALTERNATIV D Vb.

Omkostningsoverslag for utendørs koblings- og transformatorstationer, 220 kV.

Pris i 1000 kr. dansk.

	Antal	Koblings-stationer	Antal	Transform. station ved Kjøbenhavn	Antal	Transform. station ved Kalundborg
Enfasetransformatorer 4 stk. à 20 MVA				900		900
Reaktansspoler 50 kV incl. alt			2	280	2	280
Oljestrømbrytere 220 kV 3-pol. med strømtransf. . .			1	100	1	100
— — 1-pol. transf. ikke aut. . .	2	80	3	120	2	80
— 50 kV 3-pol. med strømtransf. . .			2	32	1	16
— — 1-pol. transf. ikke aut. . .			2	16	1	8
Skinnebrytere 220 kV 3-pol.			3	36	3	36
— — 1-pol.	14	70	25	125	18	90
— 50 kV 3-pol.			6	18	3	9
— — 1-pol.			22	33	11	17
Jernstativer, isolatorer, forbindelsesledninger		65		90		70
Vand- og oljeanlæg		10		60		50
Instrumentering samt svakstrømsanlæg.				50		40
Telefonanlæg		25		25		25
Bygninger for synkronmotorer, vand- og oljeanlæg, instrumentering og verksted		10		150		150
Tomt, sporanlæg, planering og fundamenter for stativer, transf., brytere m. m.		30		100		80
Kraner og transportanlæg		10		45		45
Lokalanlæg for belysning, smaamotorer, automater m. v.		5		25		25
50 kV utgaaende linjer			12	720	4	240
Administration, renter, uforutseet, diverse samt transport, emballage og montage ca. 25 %		80		775		239
Sum . . .		385		3700		2500

LUFTLEDNING OVER ØRESUND.

Nord for Helsingør er der anledning til at krydse Øresund med 2 spænd à 2300 meter og et spænd paa 1100 meter, naar der ute i sundet — paa en vanddybde av 10 meter — opføres 2 taarn, et paa hver side av seilløpet, av saadan høide at skibe frit kan passere under ledningerne.

De høieste skibsmaster man kjender er 52 à 53 meter over vandet. Man er saaledes paa den sikre side, naar den mindste fri høide under ledningerne i seilløpet gjøres 60 meter.

Til begge sider ind mot land, hvor vanddybden er mindre end 10 meter, vil kun mindre skibe kunne passere, hvorfor her en fri høide av 45 meter maa være tilstrækkelig, i alle fald paa dansk side, hvor ledningerne passerer over Lappegrunden. I det 1100 meter lange spænd paa svensk side vil man selv med normal masthøide paa land faa samme fri høide under ledningerne som i seilløpet.

Ledningerne forutsættes utført med en kjerne av galvanisert ekstra fint staal, 240 mm^2 tversnit, omgit av et lag aluminiumtraade med samlet tversnit 110 mm^2. Ledningernes diameter blir ca. 24 mm, hvilket for disse spænd er fuldt tilstrækkelig med hensyn paa korona, selv ved en spænding av 220 kilovolt.

Da ledningerne kan føre 800 ampere uten at opvarmes mere end ca. 50° C. over den omgivende luft, vil en trefaseledning, bestaaende av 3 saadanne ledninger ved 220 kV kunne føre over sundet 300,000 kVA, hvilket er det meste som kan tænkes overført paa den i vekselstrømsalternativerne forutsatte dobbeltledning fra Norge til Danmark.

Krydsningen av sundet forutsættes dog ogsaa udført som dobbeltledning og man kan da faa ført den hele effekt over sundet paa en ledning, naar den anden er ute av drift for revision eller lignende.

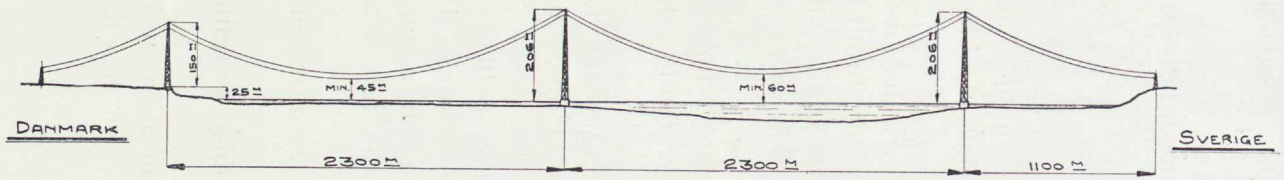
Den for ledningerne forutsatte opstrækning i de 2300 meter lange spænd fremgaar av følgende tabel:

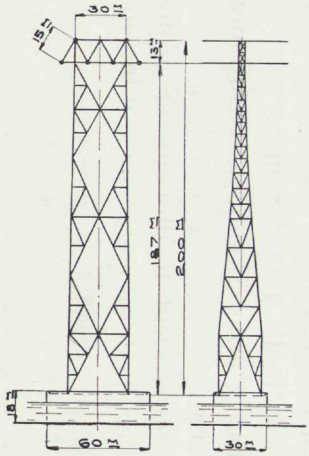
	Paakjending i staalkjernen alene kg pr. mm²	Nedhængning i m Total	Vertikal
1. Ved + 75° C. og vindstille	55,5 kg	110	110
2. » + 25° C. » »	58 »	106	106
3. » 0° C. » »	59 »	103,5	103,5
4. » ÷ 25° C. » »	60,5 »	101	101
Norske normer			
5. Ved ÷ 25° C. og ekstralast 200 + 50 d gr pr. m	89 »	114	114
6. Ved 0° C. og vindtryk 0,6 × 200 kg pr. m²	88 »	116	69,5
7. Utvalgets normer			
a. Ved 0° C. og islast av 25 mm radial tykkelse og volumvægt 0,5	97 »	119,5	119,5
b. Som a og vindtr. 0,6 × 37,5 kg pr. m²	103 »	122	112,6
8. Skjerpede normer			
a. Ved 0° C. og islast av 30 mm radial tykkelse og volumvægt 0,8	134 »	133	133
b. Som a og vindtryk 0,6 × 60 kg pr. m²	144 »	137	123

Ved beregningen er staalkjernen alene regnet som bærende, og for denne er forutsat elasticitetsmodul = 2,000,000 og temperaturutvidelseskoefficient = 0,000012.

Man er opmerksom paa, at elasticitetsmodulen er forskjellig, alt efter kablens konstruktion, og den maa derfor inden utførelse nærmere fastlægges. En ændring av elasticitetsmodulen vil dog ikke medføre nogen forøkelse av den maximale nedhængning og paakjending, idet man da ved ledningernes opstrækning tar hensyn hertil.

Anvendes staal med en brudstyrke av 200 kg pr. mm² for de enkelte traade,





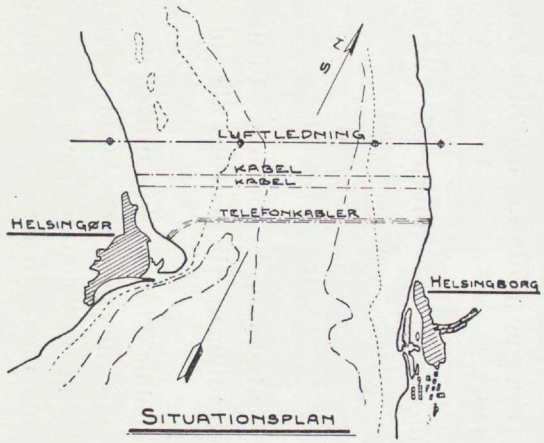
LEDNINGSTAARN

6 STAAL-ALUMINIUMKABLER

STAALKJERNE - 240 $^{M}/_{M^2}$

ALUMINIUMTVERSNIT - 110 $^{M}/_{M^2}$

BRUDDSTYRKE - 190 $^{KG}/_{MM^2}$



SITUATIONSPLAN

tilsvarende ca. 180 kg pr. mm² for den hele kabel, vil paakjendingen efter foranstaaende tabel

i belastningstilfælde	1—4	bli ca.	32 %	av kablens	brudbelastning
—	5—6	» »	50 %	—	—
—	7b	» »	57 %	—	—
—	8b	» »	80 %	—	—

Staalkablernes strækgrænse, som maa forutsættes at ligge paa omtrent 80 % av brudbelastningen, vil saaledes ikke bli overskredet i belastningstilfælde 8b.

I belastningstilfælde 5 blir paakjendingen noget større end foreskrevet i de norske normer, men dette bør ikke kunne være til hinder for at ledningerne for denne krydsning opstrammes som forutsat, naar som ovenfor paavist saavel utvalgets normer som de skjerpede normer ikke belaster ledningen over strækgrænsen.

Inden utførelse bør nærmere overveies om der kan erholdes staal med endnu høiere brudstyrke, saa man kan gaa til en strammere opstrækning, for at opnaa mindre høide av taarnene.

Den største vertikale nedhængning man efter ovenstaaende tabel faar at regne med blir 133 meter og ledningernes ophængningspunkter maa saaledes ligge mindst 193 meter over vandet.

Ledningernes indbyrdes avstand er forutsat 15 meter, hvilket efter erfaringer fra allerede utførte spænd paa indtil 1800 meter i Norge vil være fuldt tilstrækkelig. Med den paa omstaaende tegning viste ophængning av ledningerne i 2 likesidede triangler kommer de øverste Ledninger 13 meter høiere end de nederste, altsaa 206 meter over vandet.

Da fundamentets overflate er forutsat lagt 6 meter over vand, blir saaledes jerntaarnenes totale høide 200 meter.

Vægten av disse taarne vil efter anstillede foreløbige beregninger bli ca. 1000 tons pr. taarn.

Fundamenterne er forutsat utført av en jernbetoncaisson med grundflate 30 gange 60 meter, høide 16 meter, oventil forsynet med en bølgeskjærm av 2 meters høide.

Dette fundament maa ansees fuldt tilstrækkelig stabilt, selv overfor ekstraordinære isskruninger.

Ingeniør N. C. Monberg, Kjøbenhavn, som har utarbeidet et utkast til fundamentet, har tænkt sig det utført paa følgende maate:

Jernbetoncaissonen bygges indenfor en inddæmning til saa stor høide, som forholdene muliggjør det, og derefter støpes den til fuld høide flytende i havn, inden den transporteres til anbringelsesstedet, hvor der i forveien er foretat den fornødne planering av bunden. Efter at fundamentet er anbragt, foretas utstøpning med beton i hulrummet mellem de to utvendige jernbetonvægge. Disse er indbyrdes forbundet med et antal tverskot til avstivning; endvidere fyldes med sand i de indvendige hulrum. De vandrette dæk, der ogsaa tjener som avstivning, støpes, ligesom andre arbeider for færdiggjørelse foretas. Efter anbringelsen sikres bunden ved fundamentets omkreds mot utskjæring ved anbringelse av stenkastning eller sækkebeton, avhængig av resultatet av en nøiere undersøkelse av bundforholdene.

Hver ledning er forutsat avspændt paa samtlige taarne ved 8 à 9 parallele isolatorkjeder.

Ved den største forekommende belastning (tilfælde 8b ovenfor) blir strækket i hver ledning 35 ton og hver isolatorkjede faar da at opta 4 à $4^1/_2$ ton. Da man nu kan faa isolatorkjeder, hvis brudstyrke ligger ved 8 à 9 ton, skulde man saaledes selv i belastningstilfælde 8 b faa dobbelt sikkerhet mot brud av kjeden.

Inden utførelse bør dog nærmere overveies, om der ikke kan skaffes sterkere isolationskjeder end de man nu kjender, saa man kan komme ut med et mindre antal, eller om der kan skaffes en tilfredsstillende utførelse av en trykisolator.

Endvidere bør det inden utførelse overveies kun at avspænde ledningerne paa land, saaledes at taarnene kun faar at bære ledningerne oppe.

Ved at regne som ovenfor med avspænding av ledningerne for hvert enkelt taarn, skulde man være paa den sikre side saavel med hensyn til utførelse som omkostninger.

De totale anlægsomkostninger ved krydsning av Øresund er beregnet som følger:

2 fundamenter i Øresund	danske kr.	1,500,000
2 jerntaarne i Øresund	» »	1.600,000
1 jerntaarn paa dansk side	» »	450,000
2 forankringsmaster, en paa hvert land	» »	50,000
Ledninger og isolatorer m. v.	» »	400,000
	Danske kr.	4,000,000

Kristiania, i december 1922.

EIV. HANSSEN *JACOB NISSEN*

UNDERSØKELSER ANGAAENDE KORONA VED TREFASE-OVERFØRINGEN.

Ved saa høie driftsspændinger som det blir tale om ved overføring av kraft fra Norge til Danmark, maa spørsmaalet om koronatap vies en del opmerksomhet.

Spørsmaalet maa sees fra to sider, nemlig

a) Tapenes betydning i økonomisk henseende.

b) Koronaen som kilde til spændinger eller strømme av høiere harmoniske.

a. Koronatap.

Amerikaneren F. W. Peek har paa grundlag av meget omfattende forsøk utledet formler for beregning af *Koronatap*. For vekselstrømsledninger gjælder følgende formler:

$$p = \frac{241}{\delta}(f+25)\sqrt{\frac{r}{s}}\,(e-e_0)^2\,10^{-5}\,\text{kW/km leder.}$$

$$\delta = \frac{3{,}92 \cdot b}{273+t}$$

b = lufttrykket i cm Hg.

t = luftens temperatur i °C.

f = perioder pr. sek.

r = lederens radius i cm.

s = avstand mellem ledere i cm.

e = effektiv værdi av spænding mellem leder og jord i kV.

e_0 = kritisk spænding.

$$= 21{,}1 \cdot k \cdot m_0 \cdot r \cdot \delta \cdot \ln \cdot \frac{s}{r} \text{ kV} \cdot \text{til jord}$$

m_0= ujevnhetsfaktor = 1 for polert traad,
0,98—0,93 for vanlig ledningstraad,
0,87—0,83 » syvtraadet kabel.

k = 1 i rolig veir og ca. 0,8 i sneveir; i regnveir og taake ligger værdien av k mellem 1 og 0,8.

Man kan ogsaa sætte:

$$e_0 = 21{,}1 \cdot k \cdot m_0 \cdot r \cdot \delta \cdot \frac{1}{18 \cdot C} \text{ kV til jord.}$$

C = lederens driftskapacitet i mf/km.

For at bringe paa det rene, hvilke værdier av lufttætheden δ der vil komme i betraktning for de strøk hvorigjennem linjen passerer har man indhentet meteorologiske opgaver fra Sverige og Norge, hvorav hitsættes følgende.

SVENSKE STATIONER.

Lufttætheden i Halmstad.

Ved den meteorologiske station i Halmstad er der hver dag kl. 2 em. avlæst værdier av lufttryk og temperatur. For perioden 1901 til 1910 er

TABEL I.

Barometer	Temperatur					
	÷ 19,9 ÷ 10,0	÷ 9,9 ÷ 0,1	0,0 + 9,9	+ 10,0 + 19,9	+ 20,0 + 29,9	+ 30,0 + 39,9
710,0—719,9			1			
720,0—729,9			7	1		
730,0—739,9		8	80	8		
740,0—749,9		51	310	128	9	
750,0—759,9		80	579	697	123	
760,0—769,9	1	100	450	519	192	1
770,0—779,9	1	82	131	55	5	
780,0—789,9		8	4			
790,0		1				

de fundne værdier sammenstillet i tabel I, som angir antal dage med temperatur og barometer-stand inden de angivne grænser.

Paa basis av disse observationer er i tabel II opført den del av tiden (frekvens), da de forskjellige lufttætheter (δ) har optraadt.

TABEL II.

Lufttæthet δ	Frekvens %
1,18	0,03
1,165	0,03
1,163	0,03
1,15	0,11
1,15—1,11	5,18
1,11—1,07	19,89
1,07—1,03	42,52
1,03—0,99	31,96
0,98	0,25

Disse værdier kan ansees karakteristiske for hele den svenske vestkyst. Ved sammenligning med tabel VI sees at den laveste værdi for δ er praktisk talt den samme for angjældende dele av Sverige og Norge, ved havets overflate regnet.

Over spørsmaalet om hvor stor del av linjen der samtidig kan være utsat for den lave lufttæthet, er der ikke fremlagt statistiske opgaver, men efter oplysninger man har for haanden fra Meteorologiske Institut, Kristiania, maa man gaa ut fra at en barometerhøide av 710—720 mm ved havet kan forekomme samtidig paa hele strækningen Nore-Kjøbenhavn, omend meget sjelden.

Lufttætheten under sneveir.

Av den største viktighet for koronatapets forudberegning er det at faa en oversigt over frekvensen og utstrækningen av sneveir, idet sneveir nedsætter koronagrænsen til omtrent 80 % av hvad den er uten nedbør. Regn og taake foraarsaker ogsaa en økning av koronatapene, men i mindre grad end sneveir.

Sneen kan antas at indvirke paa størrelsen av koronatapet i første række derved at snefug træffer ledningen og der virker som ujevnheter, hvor feltintensiteten blir høiere og endvidere ved at snefnug i ledningens nærhet bevirker en ujevn feltfordeling likesom de i nogen grad forhøier den effektive dielektricitetskonstant af luften mellem ledningerne.

Tabel III angir for Gøteborg antallet av dage med sneveir av mindst 5 mm nedbørsmængde tillikemed opgaver over barometerstand, temperatur og vindstyrke, observert kl. 9 e. m. vedkommende dage.

TABEL III.

Periode	Antal dage med sneveir	Medium Barometertryk mm. Hg.	Temperatur	Vindstyrke Meter/sek.
1905—1910	82	747,1	+ 0,70	3,0
Extremer		777,0—709,0	{ + 5,8 ÷ 9 }	7
1911—1915	66	747,4	+ 1,13	2,4
Extremer		767,6—721,6	{ + 7,3 ÷ 8,4 }	7

Av denne tabel sammenholdt med tabel I fremgaar at luftens tæthet under sneveir ikke væsentlig avviker fra den almindeligst forekommende tæthet.

Nedbørens frekvens.

I nedenstaaende tabel IV er for perioden 1873-1912 opført antal dage med nedbør i maanederne januar, februar, mars, november og december

TABEL IV.

Antal dage med nedbør i vintermaanederne.

Millimeter nedbør	Halmstad					Gøteborg					Strømstad				
	jan.	feb.	mars	nov.	dec.	jan.	feb.	mars	nov.	dec.	jan.	feb.	mars	nov.	dec.
≧ 5 . . .	133	116	115	154	160	173	160	135	184	206	87	70	105	98	95
4,9—2 . .	131	135	155	143	177	144	112	159	141	158	112	109	103	112	136

for stationerne Halmstad, Gøteborg og Strømstad. I tabel V er opført de aarlige middeltal for de samme stationer i samme tidsrum.

TABEL V.

Middeltal pr. aar af dage i vintermaanederne med nedbør.

Millimeter nedbør	Halmstad	Gøteborg	Strømstad
≥ 5	16,9	21,4	11,4
4,9—2	18,8	17,8	14,3
Sum . . .	35,7	39,2	25,7

Av tabellerne fremgaar at Gøteborg har det største, Halmstad noget mindre og Strømstad betydelig mindre antal dage med nedbør i vintermaanederne.

Samtidighet av nedbør for forskjellige linjeavsnit.

For at faa en oversigt over hvor stor del av linjen som samtidig træffes av sneveir er der for en periode av 5 aar undersøkt statistiken over sneveir i maanederne januar-april og november-december for stationerne Lund, Halmstad, Gøteborg og Strømstad. Sneveir med nedbør ≥ 2 mm indtruffet paa nogen av disse stationer er blit tabulert og derefter ordnet efter følgende skema:

4 stationer samtidig truffet av sneveir.
3 — — —
2 — — —
1 — — —

Fig. 1 viser sneveirenes utstrækning og antal pr. aar.

Av kurverne fremgaar at man paa strækningen Helsingborg—Trollhättan har i gjennemsnit 32 dage med sneveir pr. aar og paa strækningen Helsingborg—Glommen 36.

Ved bestemmelsen av sneveirenes utstrækning har man regnet med at de enkelte stationer omfatter følgende del av linjens længde:

Svenske stationer:	Lund	60 km
	Halmstad	120 »
	Gøteborg	130 »
	Strømstad	150 »

Den gjennemsnitlige varighet av sneveirene ved de omhandlede svenske stationer er ca. $5^1/_2$ time.

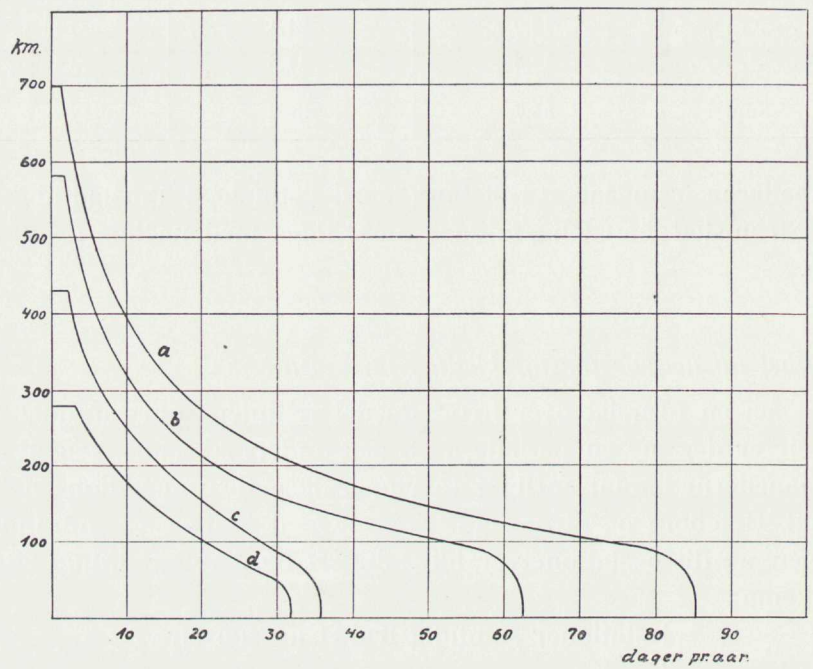


Fig. 1. Antal dage med sneveir $\geqq$ 2 mm og dets utstrækning.
a. Helsingborg—Vest Norge. *b.* Helsingborg—Nore.
c. — Glommen. *d.* — Trollhättan.

NORSKE STATIONER.

Som laveste lufttryk ved havets overflate i *det sydlige Norge har man faaet opgit følgende:*

Av varighet	Mindste lufttryk.
2—3 dage	720 mm Hg
6—7 timer, forekommer sjelden	710 —
1—2 — — —	705 —

Som foran nævnt er dog det laveste lufttryk som kan forekomme paa hele strækningen samtidig 710—720 mm og selv det forekommer kun meget sjelden.

Trykket avtar med høiden over havet med omtrent 1 mm pr. 11 meter høide.

Temperaturen er stærkt avhængig av de lokale forholde.

Trange avstængte dalfører vil om vinteren ha lavere temperatur end aapne strækninger, selv om disse ligger høiere. Om sommeren vil det omvendte være tilfælde, idet det da er varmest nede i dalen. Der blev opgit følgende tal:

Mindste midlere døgntemperatur av varighet flere dage:

i Kristiania	÷ 18 ° C.	stængt dal
i Nes i Hallingdal	÷ 30 ° C.	trang »
i Smaalenene	÷ 15 ° C.	aapent
ved Solbergfos	÷ 18 ° C.	—
paa fjeldet	÷ 20 ° C.	— (Finse).

Høieste midlere døgntemperatur av varighet flere dage:

i Kristiania	+ 25 ° C.
i Nes i Hallingdal	+ 23 ° C.
i Smaalenene	+ 20 ° C.
paa fjeldet	+ 14 ° C.

Angaaende samtidighet bemerkes:

Om sommeren har man høit lufttryk samtidig med høi temperatur, derimot ikke lavt tryk og høi temperatur samtidig.

Om vinteren har man som regel høit tryk og lav temperatur samtidig likesom lave tryk (720 mm) er forbundet med relativ høi temperatur (0 til + 5 ° C.)

Ovennævnte temperatur er alle midlere i døgnet.

De midlere extremer hvormed man mener at kunne regne ved bestemmelsen av den laveste forekommende værdi av δ er sammenstillet i følgende tabel VI:

TABEL VI.

Høide over Havet i m	Rolig veir			Storm uten nedbør		
	b	t	δ	b	t	δ
0	76	+ 30	0,984	72	+ 12	0,991
500	71,5	+ 27	0,934	68	+ 9	0,946
1000	67,0	+ 24	0,885	63	+ 7	0,883
1500	62,5	+ 21	0,833	59	+ 5	0,832

Ugunstigere forhold *kan* forekomme, men meget sjelden og da av kort varighet.

Man mener derfor for det sydlige Norge at kunne regne med følgende værdier, som er i god overensstemmelse med de i tabel II anførte efter svenske opgaver.

TABEL VII.

Høide over havet i m	0	500	1000	1500
δ	0,99	0,94	0,88	0,83

Lufttæthed under sneveir.

Det er oplyst at sneveir og regn forekommer til sine tider samtidig med de laveste lufttryk og over hele den del av linjen som falder indenfor Norges grænser.

Om samtidighet av sneveir paa de forskjellige stationer.

Stationerne er:

Grineli (nær Nore) 367 m. o. h., antat linjelængde 150 km.
Haugastøl 990 — — — 120 »
Sum 270 km.

Det aarlige antal av sneveir med en nedbørsmængde $\geqq$ 2 mm og deres utstrækning er opgit til 75

Derav omfattende hele linjen i Norge 6
— — halve — — 38
— — 1/3 — — 54

Paa figur 1 er forholdet for forskjellige linjealternativer optegnet, paa basis av de foreliggende opgaver.

SAMMENDRAG VEDRØRENDE LUFTTÆTHET OG NEDBØR.

Det vil av ovenstaaende fremgaa, at man for hele linjen kan regne med samme laveste barometerstand ved samme høide over havet.

Den tilsvarende temperatur falder 2°—3° C. pr. 500 m o. h.

Som laveste lufttæthet for hele linjen seet under et mener man at kunne regne med de i tabel VII opgitte værdier, idet disse ansees som midlere grænse. 1—2 % lavere værdier kan forekomme, men dette blir meget sjelden og kortvarig.

For beregningen av det maksimale koronatap under sneveir har man fundet det rimelig at regne med en noget høiere værdi av δ end den ugunstigste. Efter hvad man har bragt i erfaring finder man nemlig at chancen for sneveir over hele linjen samtidig med laveste lufttæthet over hele linjen er praktisk talt utelukket.

Man har derfor for dette tilfælde regnet med $\delta = 1$ ved havets overflate.

BEREGNEDE KORONATAP.

Paa basis av ovenstaaende og fig. 1 har man paa følgende fig. 2, 3 og 4 kurve a, optegnet de sandsynlige antal sneveir og deres utstrækning for alternativerne Glommen—Kjøbenhavn, Nore—Kjøbenhavn og Nore—Kalundborg.

Paa basis herav har man saa beregnet koronatapet for de i omkostningsoverslaget opførte 5 alternativer og desuten for ledningen Nore—Kalundborg ved 220 kV driftsspænding.

Man har gaaet ut fra at ledningsarrangementet ved 132 kV blir som vist paa fig. 5 og ved 220 kV som fig. 6 og at hver mast faar en jordline.

Man har videre gaaet ut fra at spændingen er 132 kV i begge ender, men har for at ta hensyn til at spændingen er høiest omtrent mitt paa linjen regnet med 133 kV som midlere spænding, mens man ved 220 kV har regnet med 222 kV over hele linjen.

For ujevnhetsfaktoren m_0 er der regnet med en værdi av 0,85.

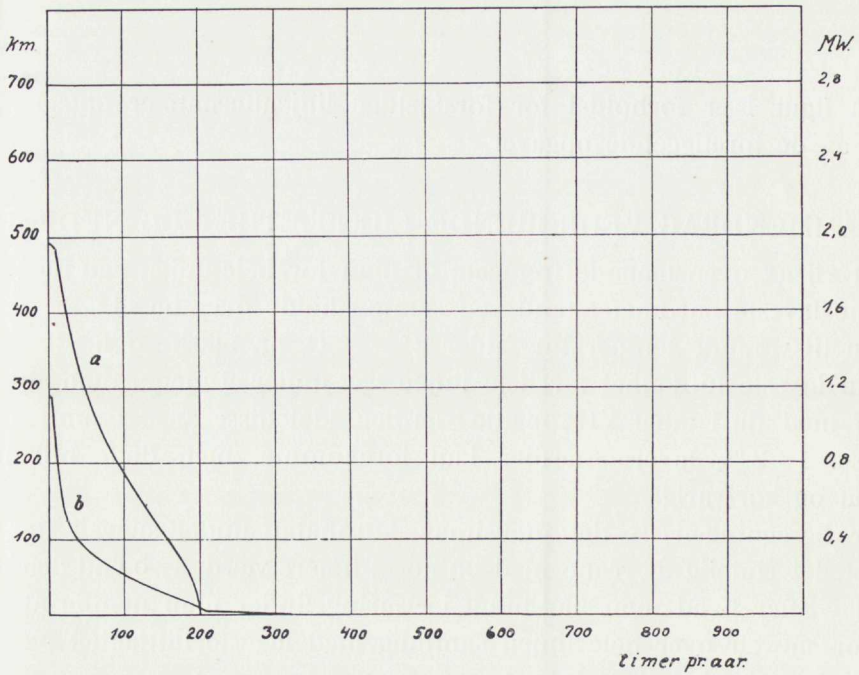


Fig. 2. Glommen—Kjøbenhavn.

a. Sneveirets utstrækning og varighet pr. aar.
b. Koronatap i MW ved 132 kV og 3×120 mm².

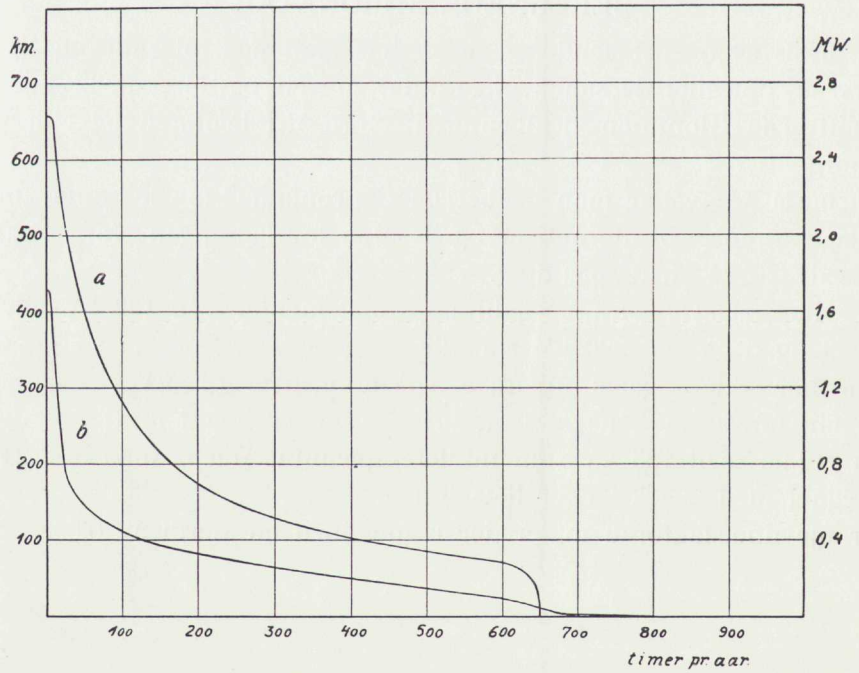


Fig. 3. Nore—Kjøbenhavn.

a. Sneveirets utstrækning og varighet pr. aar.
b. Koronatap i MW ved 132 kV og 3×120 mm².

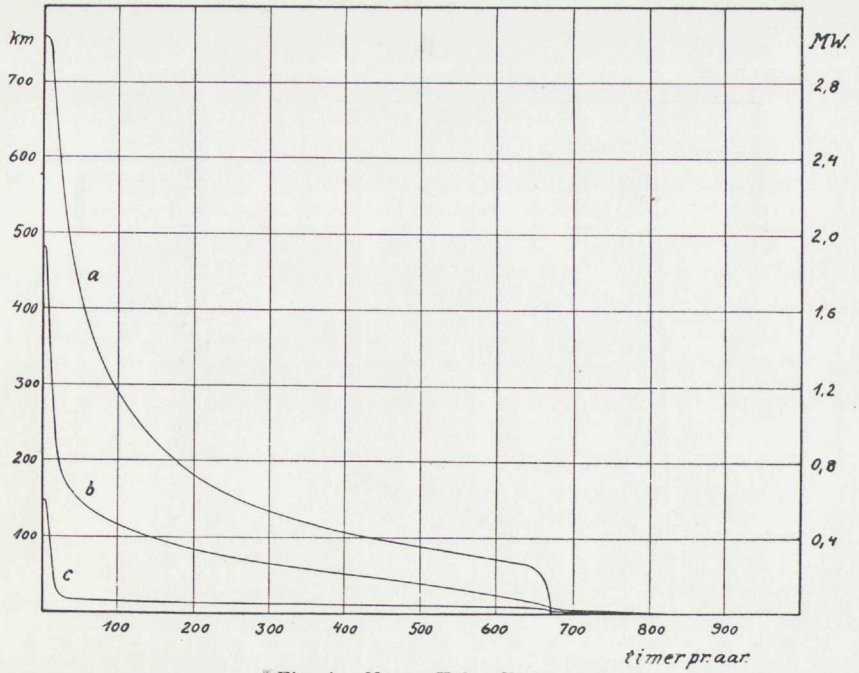


Fig. 4. Nore—Kalundborg.

a. Sneveirets utstrækning og varighet pr. aar.
b. Koronatap i MW ved 132 kV og 3×120 mm².
c. — — - 220 - - 3×490 —

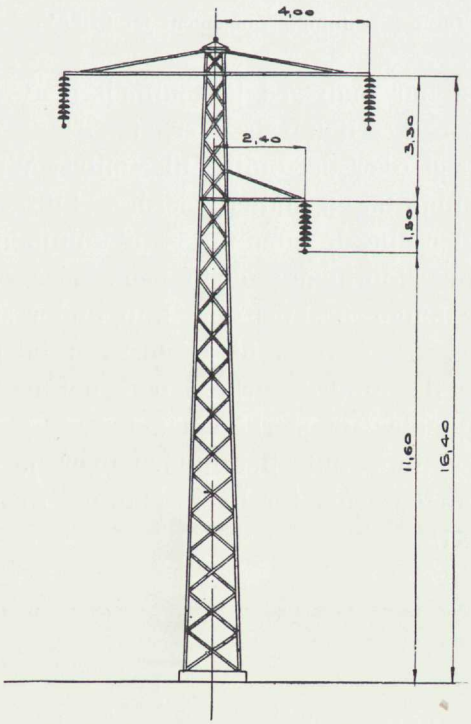


Fig. 5. Ledningsarangement for 132 kV.

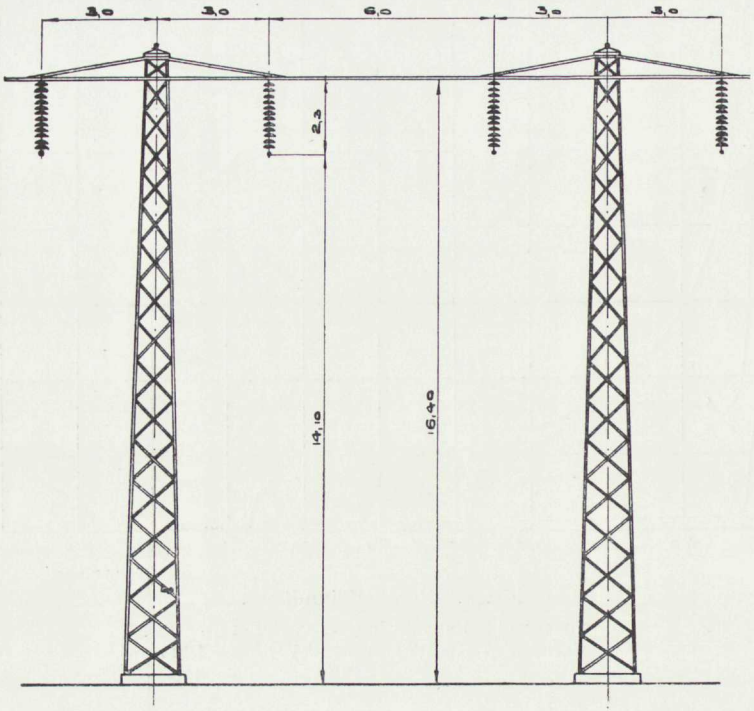


Fig. 6. Ledningsarrangement for 220 kV.

Som tidligere nævnt har man ved bestemmelsen av det maksimale koronatap regnet med $\delta = 1$ ved havets overflate.

For at faa en oversigt over det omtrentlige antal kWh, som koronatapet aarlig vil udgjøre har man tat en midlere værdi av lufttryk, nemlig $\delta = 1{,}05$, og beregnet tapet under alle de efter fig. 1 forekommende sneveir.

Ved de i betraktning kommende driftsspændinger og ledningstværsnit forekommer der koronatap praktisk talt kun under sneveir samt under regn og tildels taake. Hensyn til disse sidste er tat derved at man for samtlige sneveir, ogsaa de mindre sterke, har regnet med $k = 0{,}8$, en værdi som ellers nærmest gjælder for sterke snefald.

Linjen er opdelt i sektioner alt efter høiden over havet og kritisk spænding og kW koronatap beregnet for hver sektion. Resultaterne er gjengit i tabellerne VIII til XI.

TABEL VIII.

Nore—Kalundborg 132 kV, 3 × 120 mm².

Sneveir med $\delta = 1{,}00$ ved havets overflate.

Sektions nr. . . .	1	2 og 4	3 og 5	6	7	
Længde km.	35	40	35	500	150	
Høide over havet m . . .	650	200	475	130	50	
δ	0,917	0,975	0,939	0,983	0,994	
e_0 kV leder nr. 1. . . ,	65,0	69,0	66,5	69,6	70,4	
e_0 kV leder nr. 2. . . .	60,6	64,5	62,1	65,0	65,7	
e_0 kV leder nr. 3. . . .	59,2	62,9	60,6	63,4	64,1	
p kW leder nr. 1. . . .	0,86	0,36	0,64	0,29	0,23	
p kW leder nr. 2. . . .	1,81	1,01	1,46	0,91	0,81	
p kW leder nr. 3. . . .	2,23	1,31	1,84	1,21	1,08	
Tap kW/km 3-leder. . . .	4,90	2,68	3,94	2,41	2,12	Max. tap
do. kW ialt	171	107	138	1200	318	1934 kW

TABEL IX.

Nore—Kalundborg 132 kV, 3 × 120 mm².

Sneveir med $\delta = 1{,}05$ ved havets overflate.

Sektions nr. . . .	1	2 og 4	3 og 5	6	7	
Længde km.	35	40	35	500	150	
Høide over havet m . . .	650	200	475	130	50	
δ	0,965	1,023	0,986	1,032	1,043	
e_0 kV leder nr. 1. . . .	68,3	72,5	69,9	73,2	74,0	
e_0 kV leder nr. 2. . . .	63,7	67,8	65,3	68,3	69,0	
e_0 kV leder nr. 3. . . .	62,2	66,1	63,7	66,6	67,3	
p kW leder nr. 1. . . .	0,42	0,16	0,27	0,08	0,04	
p kW leder nr. 2. . . .	1,14	0,51	0,87	0,46	0,38	
p kW leder nr. 3. . . .	1,46	0,74	1,14	0,67	0,58	
Tap kW/km 3-leder. . . .	3,02	1,41	2,28	1,21	1,00	
do. kW ialt	106	58	79	605	150	1000 kW

TABEL X.

Nore—Kalundborg 220 kV, 3×490 mm².

Sneveir med $\delta = 1{,}00$ ved havets overflate.

Sektions nr. . . .	1	2 og 4	3 og 5	6	7	
Længde km	35	40	35	500	150	
Høide over havet m . . .	650	200	475	130	50	
δ	0,917	0,975	0,939	0,983	0,994	
e_0 kV leder nr. 1 og 3 .	119	126,5	122	127,5	129	
e_0 kV leder nr. 2	112	119	115	120	121,5	
p kW leder nr. 1 og 3 .	0,64	0,02	0,28	0	0	
p kW leder nr. 2	2,56	0,74	1,59	0,58	0,37	
Tap kW/km 3-leder. . . .	3,84	0,78	2,15	0,58	0,37	Max. tap
do. kW ialt	134	31	75	290	55	585 kW

TABEL XI.

Nore—Kalundborg 220 kV, 3 × 490 mm².

Sneveir med $\delta = 1{,}05$ ved havets overflate.

Sektions nr. . . .	1	2 og 4	3 og 5	6	7	
Længde km	35	40	35	500	150	
Høide over havet m . . .	650	200	475	130	50	
δ	0,964	1,023	0,986	1,032	1,043	
e_0 kV leder nr. 1 og 3 .	125	133	128	134	135,5	
e_0 kV leder nr. 2	118	125	120,5	126	127,5	
p kW leder nr. 1 og 3 .	0,07	0	0	0	0	
p kW leder nr. 2	0,92	0,08	0,5	0,04	0	
Tap kW/km 3-leder. . . .	1,06	0,08	0,5	0,04	0	
do. kW ialt	37	3,2	17,5	20		77,7 kW

Tapene i kWh er beregnet paa basis av kurverne b og c i fig. 2, 3 og 4. Resultatet herav saavelsom av de ovenstaaende beregninger er sammenstillet i den følgende tabel XII.

TABEL XII.

Koronatap.

Alternativ	km	kV	mm²	Koronatap	
				kW max	kWh aarlig
I. Glommen-Kjøbenhavn	490	132	3×120	1170	58500
II. Nore—Kjøbenhavn. .	660	132	3×120	1720	201000
II b. Nore—Kjøbenhavn. .	660	132	2×3×120	3440	402000
III og IV. Nore—Kalundborg . .	760	132	2×3×120	3870	420000
V a. Nore--Kalundborg . .	660		2×3×490	0	
	100	132	2×3×120	420	18000
V b. Nore—Kalundborg. .	760	220	3×490	590	40000

Det fremgaar herav at det maksimale koronatap i kW ved 132 kV og 120 mm² ledning vil kunne komme op i ca. 4000 kW for en dobbeltlinje Nore—Kalundborg (altsaa ca. 2000 kW for en linje), og at det sandsynlige energitap i aaret for denne dobbeltlinje vil andra til 420 000 kWh eller i gjennemsnit for aaret rundt 50 kW ved de ledninger som forutsættes anvendt. Gjennemsnitlig eller maalt i kWh er saaledes koronatapet ubetydeligt i forhold til den kraftmængde som paaregnes overført.

Det maksimale koronatap vil derimot komme til at øke belastningen i Norge med ca. 4000 kW ved alternativ III og IV.

For de øvrige alternativer blir tapet i kW betydelig mindre.

For spændingsreguleringen faar de beregnede koronatap ikke i noget alternativ nogen nævneværdig betydning.

b. Koronaen som kilde til spændinger og strømme av høiere harmoniske.

Dette spørsmaal er nærmere behandlet i en artikel av ingeniør Eiv. Hanssen i Elektroteknisk Tidsskrift no. 18 — 1922. I det følgende gjengis et resume av denne artikel.

Naar korona indtrær paa en leder i luft, saa blir luften omkring lederen ionisert og som følge derav ledende. Dette har paa ledningens kapacitet samme virkning som en forøkelse av ledningens diameter, hvilket igjen bevirker at ladestrømmen blir større.

Ioniseringen finder sted kun i den del av hver halvperiode, da spændingens momentane værdi overskrider luftens kritiske spænding, som ved forsøk er vist at være praktisk talt 30 kV/cm (maksimal værdi). I fig. 7 viser kurven *e* den sinusformede klemmespænding. Fra 0 til 1 er der ingen korona; ved 1 er den kritiske spænding, tilsvarende 30 kV/cm naaet, og korona indtrær pludselig, økende indtil spændingsbølgens maksimum er naaet, for saa atter at synke og forsvinde omtrent ved punkt 2, da spændingen igjen er sunket ned til en værdi tilsvarende 30 kV/cm.

Resultatet herav er at ladestrømmen faar en takket form som antydet i fig. 8. Som regel er denne korona-ladestrøms indflydelse paa ladestrømmens størrelse forholdsvis liten.

Samtidig med at koronaen indtrær opstaar ogsaa en til tapene svarende wattstrøm. Under antagelse av at denne strøm forløper efter en sinuskurve er den vist paa fig. 9, kurve *i*. Fig. 10 viser de tre strømme, normal ladestrøm, korona-tillæg-ladestrøm og korona wattstrøm samt deres resultant og endvidere spændingen, i riktig fase. Fig. 11 viser samme resulterende strømkurve og dens grundtone samt 3dje, 5te og 7de overtoner. Denne kurve gjælder for 240 mm² kabel ophængt i et horisontalplan, med 5 m lederavstand, 220 kV driftsspænding, trefase, ved snestorm og lavt barometer. Forutsætningen for at den 3dje harmoniske kan flyte er at nulpunktet er jordet. Er det ikke jordet, saa vil man istedetfor den 3dje harmoniske strømkomponent faa en 3dje harmoniske spænding mot jord. Dennes værdi kan man tilnærmet beregne ut fra det synspunkt at den maa være stor nok til at drive en 3dje harmoniske strøm av samme størrelse (men motsat i fase) som den oprindelige 3dje harmoniske strøm gjennem den til ledningens driftskapacitet svarende kondensator. For det omtalte tilfælde findes den at være ca. 6000 volt.

Samtlige trefasesystemets 3 ledere faar altsaa en spænding av 6000 volt mot jord med et periodetal tre gange det normale. Dette vil selvsagt kunne virke forstyrrende paa telefon- og telegrafledninger. Det samme gjælder for den 3dje harmoniske strøm, naar nulpunktet jordes.

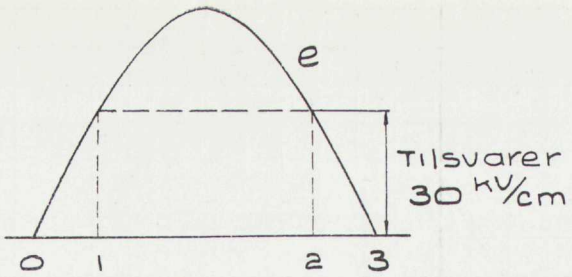


Fig. 7. *e*. Spændingskurve.

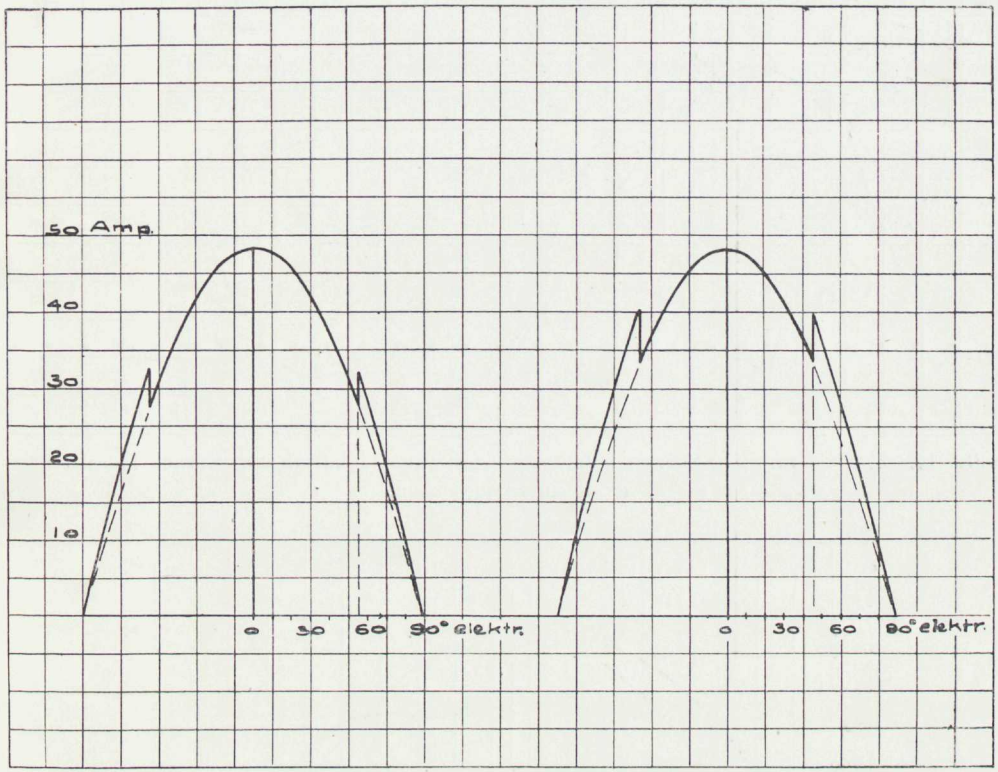


Fig. 8. Koronaens indflydelse paa ladestrømmen.

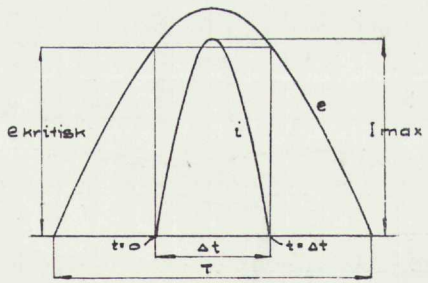


Fig. 9. *e*. Spænding. *i*. Korona tap-strøm.

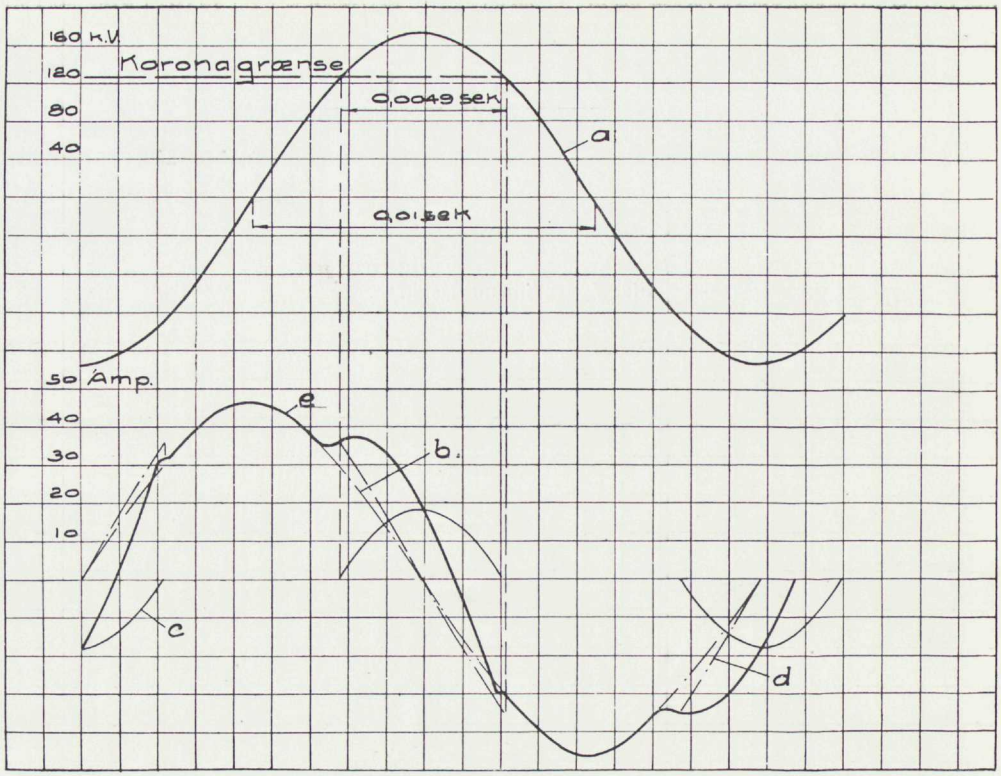


Fig. 10. *a.* Spænding. *b.* Normal ladestrøm. *c.* Korona tap-strøm. *d.* Korona ladestrøm. *e.* Resulterende strøm.

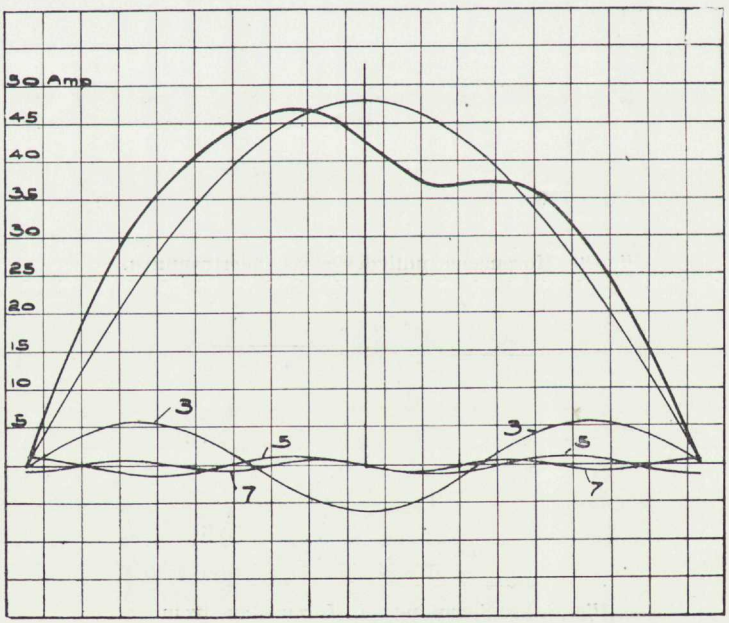


Fig. 11. Resulterende strøm samt grundtone og høiere harmoniske.

Det er saaledes ikke alene koronatapenes rent økonomiske betydning som blir bestemmende for om man kan drive en ledning over koronagrænsen, men der maa ogsaa tas hensyn til den risiko som derved opstaar for forstyrrelser i telefon- og telegrafledninger.

Utvalget har derfor fundet det riktigst at regne med saa store ledningstversnit, at det her omhandlede fænomen praktisk talt ikke vil forekomme.

Kristiania, i December 1922.

EIV. HANSSEN. *JACOB NISSEN.*

FASFÖRSKJUTNING, SPANNINGSREGLERING OCH FÖRLUSTER VID TREFASALTERNATIVEN.

Vid överföring av elektrisk kraft från Norge till Danmark med trefasström, varvid ledningarna på kabelteknikens nuvarande ståndpunkt måste framdragas över Sverige och de danska öarna till Jylland, är överföringsdistansen från Nore till den närmaste belastningspunkten, Köpenhamn, 660 km. och till den bortersta, Aalborg, 970 km.

Vid behandlingen av detta överföringsproblem är att beakta, icke blott att totala överföringsdistansen är ungefär dubbla den hittills längsta förekommande, utan att dessutom naturförhållandena tvinga till användande av onormalt låg överföringsspänning på stora sträckor inom Danmark, emedan sjökablar måste användas i stor utsträckning och det härvid måste ordnas så, att dessa kablar icke få högre spänning än 50 kV.

Av de undersökningar, som verkställts, refereras nedan i stort sett endast de, som avse alternativ D, vid vilket 132 kV linjerna framdragits till Köpenhamn och Kalundborg.

Alternativ C företer sådana likheter med alternativ D, att det ansetts tillräckligt att beträffande detsamma lämna några allmänna upplysningar.

Regleringsmöjligheter.

Spänning och fasförskjutning måste regleras medels synkronmotorer vid mottagningsänden av överföringen.

Man kan anordna överföringen för *planreglering* (spänningen lika i båda ändpunkterna) eller för *fallande reglering* (spänningen lägre vid mottagningsänden) eller t. o. m. för *stigande reglering* (spänningen högre vid mottagnings-

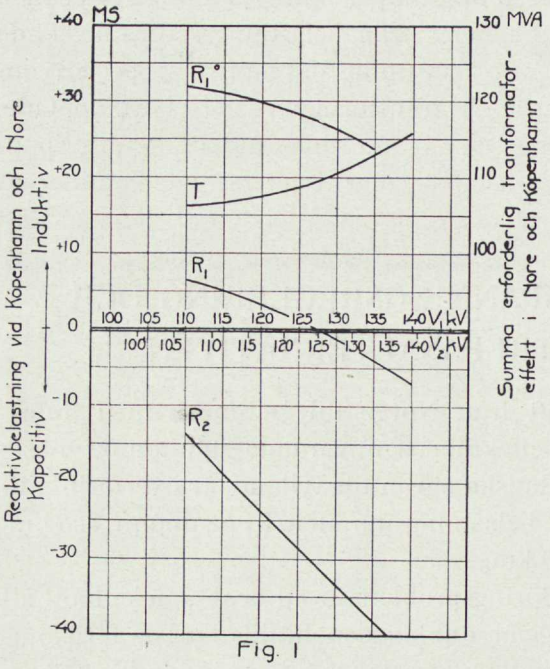


Fig. 1

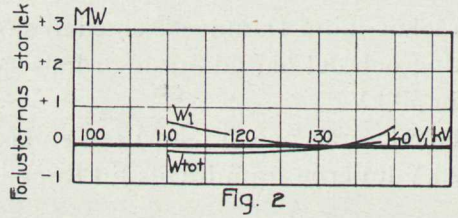


Fig. 2

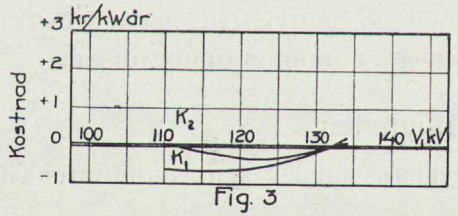


Fig. 3

Förklaring av kurvbeteckningarna i fig. 1—3.

R_1^0 Vid tomgång erforderlig induktiv belastning i form av reaktansspolar vid Köpenhamn å lågspänningssidan.

T Summa transformatoreffekt för Nore och Köpenhamn (= genomgående antalet MVA).

V_1 Spänningen vid Köpenhamn å transformatorernas primärsida (linjesidan).

V_2 Spänningen vid Köpenhamn å transformatorernas sekundärsida.

R_1 Erforderlig reaktiv belastning vid Köpenhamn, sekundärt.

R_2 Kapacitiv belastning å generatorerna i Nore.

W_1 Variation i överföringsförlusterna (i upptransformatorer, linje och nedtransformatorer).

W_{tot} Variation av totala förlusterna (i generatorer, upptransformatorer, linje, nedtransformatorer och synkronmotorer).

K_1 Variation i överföringskostnaderna för enbart systemet Nore-Köpenhamn.

K_2 Variation i överföringskostnaderna för hela systemet Nore-Köpenhamn-Kalundborg.

42.000 kW nyttig effekt överföras till Danmark från Nore vid konstant spänning i Nore av 132 kV och linje bestående av 6×120 mm² Cu.

änden än vid kraftverket). Det är möjligt att genom spänningsreglering å huvudlinjen kompensera spänningsfallet å från belastningscentra utgående fördelningsledningar. Detta gäller vid belastning. Vid tomgång, speciellt om fördelningslinjerna med sina tomgående transformatorer äro bortkopplade, måste induktiv belastning (släpande ström) anordnas för att hindra spänningsstegring genom inverkan av linjekapaciteten. I det följande kommer att angivas de tekniska och ekonomiska karakteristikorna för systemet, så att det ur ekonomisk synpunkt gynnsammaste driftsättet blir klarlagt.

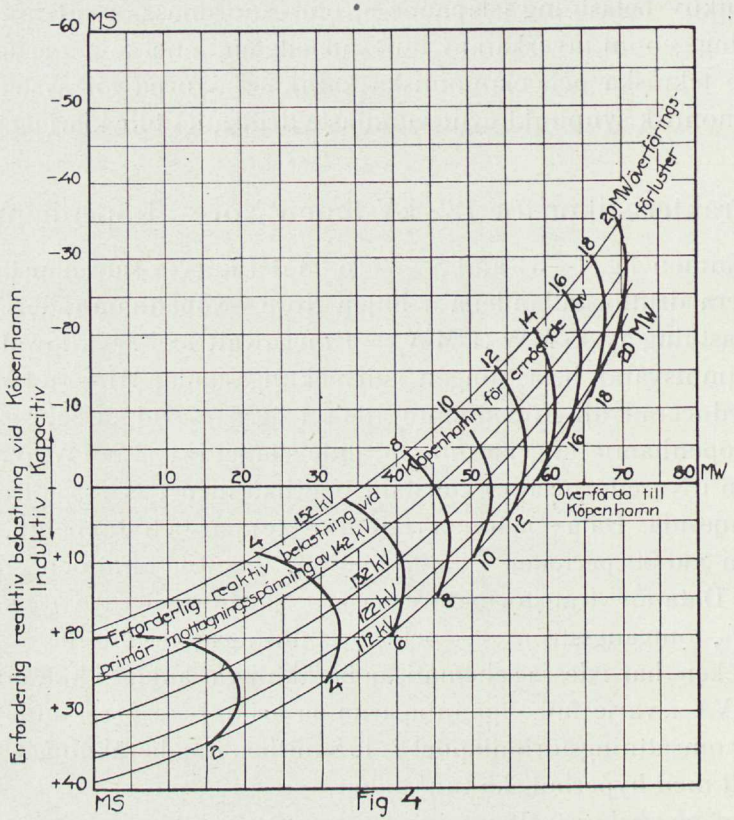
Karakteristikor för 132 kV-linjen Nore—Köpenhamn.

I diagrammen fig. 1—3 samt 5—7 äro en del kurvor sammanställda, som karaktärisera driftförhållandena å linjen Nore—Köpenhamn, dels i fig. 1—3 vid en belastning av 45 MW (1 MW = 1 megawatt = 1000 kilowatt) vid Köpenhamn (motsvarar belastningen i utvecklingsstadiet III — 42 MW nyttig effekt — reducerad till Köpenhamn), dels i fig. 5—7 vid en belastning av 60 MW vid Köpenhamn (ungefär motsvarande stadiet IV, 52,5 MW nyttig effekt). Spänningen i Nore förutsättes konstant och lika med 132 kV på transformatorernas linjesida. Data för linjen (120 mm² koppar och dubbellinje) äro per fas och km vid 50 perioder r = 0,146 ohm, x = 0,44 ohm och y = 2,6 mikromho.[1]) Data för transformatorerna äro: järnförluster 0,8 %, kopparförluster 0,7 %, tomgångsström 8 % och kortslutningsspänning 10 %. Transformatorstorleken har i dessa schematiska beräkningar antagits lika med belastningen i kVA i varje fall. Spänningarna på primär- resp. sekundärsidan ha angivits för omsättningsförhållandet 1 : 1. Samtliga linjeberäkningar ha utförts på känt sätt med hyperboliska funktioner.

I fig. 1 har på abskissaxeln avsatts den primära mottagningsspänningen vid Köpenhamn — övre skalan. Kurvan R_1 i fig. 1 angiver, vilken reaktiv regleringsbelastning som erfordras å sekundärsidan för varje särskild mottagningsspänning vid Köpenhamn (med 132 kV i Nore). Induktiv belastning (släpande ström) angives positivt, kapacitiv belastning (ledande ström) angives

[1]) r betecknar ohmskt motstånd (resistans).
x „ induktivt motstånd (reaktans).
y „ kapacitiv ledningsförmåga (susceptans).

negativt. Av diagrammet framgår, att det behövs 2 MVA kapacitiv belastning för att primärspänningen vid Köpenhamn skall bliva 132 kV (utöver vad som behövs för tillgodoseende av det induktiva strömbehovet hos konsumtionen). Vill man hava 120 kV primärt vid Köpenhamn, skall överföringen induktivt



SpänningsregleringS- och förlustdiagram för linjen Nore—Köpenhamn vid 6 × 120 mm² Cu och 132 kV i Nore. Effekt och reaktiv belastning uppmätta å primärsidan vid Köpenhamn.

belastas med 3 MVA sekundärt vid Köpenhamn. Den reaktiva belastningen å primärsidan vid Köpenhamn erhålles genom att summera den reaktiva regleringsbelastningen å sekundärsidan med den reaktiva förbrukningen i nedtransformatorerna; vilken är c:a 8 MS i fig. 1 och c:a 11,5 MS i fig. 5 (1 MS = 1 megasin = 1000 reaktiva kVA). Sekundärspänningen vid Köpenhamn er-

hålles av primärspänningen och spänningsfallet i transformatorerna, vilket vid stor kapacitiv belastning blir negativt (= spänningsförhöjning). Sekundärspänningen är i fig. 1 avsatt å den undre skalan. Slutligen har i fig. 1 genom kurva T angivits sammanlagda transformatoreffekten i Nore och vid Köpenhamn samt genom kurva R_1^0 storleken av de reaktansspolar, som i tomgång erfordras vid Köpenhamn för att hålla primärspänningen därstädes vid samma värde som vid fullast — varom mera nedan — ävensom slutligen genom kurvan R_2 kapacitetsbelastningen vid generatorerna i Nore.

Variationerna i de förluster, som uppstå i linjen samt i upp- och nedtransformatorerna vid olika mottagningsspänning, finnas angivna i fig. 2, därvid som nollpunkt valts värdena vid 132 kV å högspänningssidan vid Köpenhamn (planreglering). Till förlusterna i själva överföringen, som angives av kurvan W_l, komma emellertid förlusterna i de synkronmotorer, som krävas för faskompenseringen. Förlusterna i synkronmotorerna ha beräknats till 0,06 MW per producerad MS. Överföringsförlusterna ha ökats med förlusterna för det antal MS, som vid högre primär mottagningsspänning än 132 kV behöver alstras utöver vad som erfordras för 132 kV. För primär mottagningsspänning lägre än 132 kV hava överföringsförlusterna minskats med förlusterna för det antal MS, som inbesparas gentemot 132 kV-fallet. På detta sätt har en kurva W_{tot}, som anger variationen i totala förluster, erhållits. Minimipunkten för förlustkurvan förskjutes mot mera fallande reglering, om hänsyn tages till förlusterna i synkronmotorerna, än om dessa förluster försummas. Fig. 5 och 6 ange samma data beträffande 60 MW-överföringen som fig. 1 och 2 angående 45 MW-överföringen.

Ovan nämnda kurvor avse förhållandena vid belastning. Vid minskad belastning minskas behovet av kapacitiv regleringsbelastning avsevärt. I fig. 4 finnes angivet sambandet mellan belastningskomposanterna (MW och MS) å linjesidan vid Köpenhamn för olika spänning vid Köpenhamn. Medelst nivålinjer åskådliggöras effektförlusterna i linjen vid varje belastningsfall. Detta diagram ger en god inblick i förhållandena vid variation av belastningen. Vid låg belastning stiger som synes spänningen betydligt vid Köpenhamn på grund av linjens kapacitet, om icke spänningsfall åstadkommes genom induktiv belastning. Med hänsyn till kablarna får emellertid spänningen å distributionsledningarna i Danmark icke heller vid tomgång överstiga 50 kV. Sänkning av

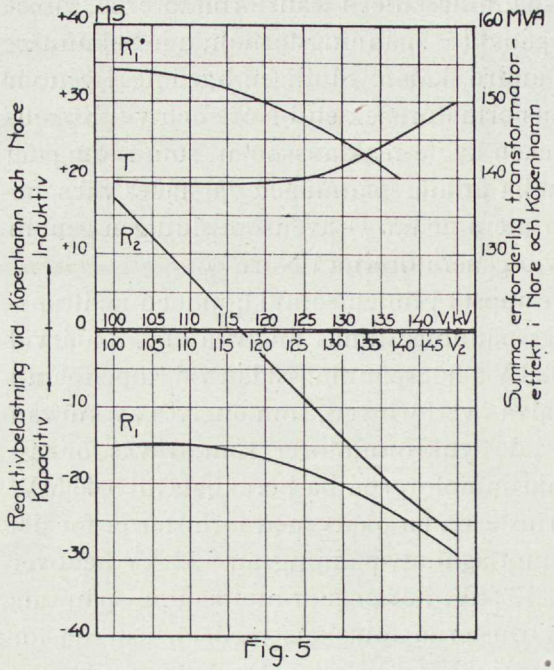


Fig. 5

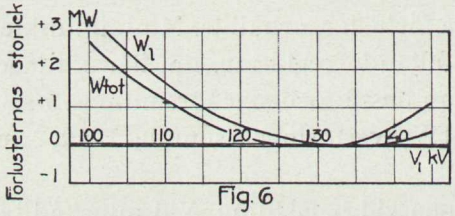


Fig. 6

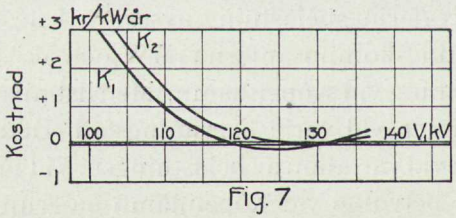


Fig. 7

Förklaring av kurvbeteckningarna i fig. 5—7.

R_1^0 Vid tomgång erforderlig induktiv belastning i form av reaktansspolar vid Köpenhamn å lågspänningssidan.

T Summa transformatoreffekt för Nore och Köpenhamn (= genomgående antalet MVA).

V_1 Spänningen vid Köpenhamn å transformatorernas primärsida (linjesidan).

V_2 Spänningen vid Köpenhamn å transformatorernas sekundärsida.

R_1 Erforderlig reaktiv belastning vid Köpenhamn sekundärt.

R_2 Reaktiv belastning (induktiv resp. kapacitiv) å generatorerna i Nore.

W_1 Variation i överföringsförlusterna (i upptransformatorer, linje och nedtransformatorer).

W_{tot} Variation av totala förlusterna (i generatorer, upptransformatorer, linje, nedtransformatorer och synkronmotorer).

K_1 Variation i överföringskostnaderna för enbart systemet Nore-Köpenhamn.

K_2 Variation i överföringskostnaderna för hela systemet Nore-Köpenhamn-Kalundborg.

52.500 kW nyttig effekt överföras till Danmark från Nore vid konstant spänning i Nore av 132 kV och linje bestående av 6×120 mm² Cu.

spänningen i Nore är icke att räkna med dels av drifttekniska skäl, såsom samdrift med andra förbrukare, dels därför att en dylik spänningssänkning på grund av de magnetiska massorna ej hinner verka tillräckligt snabbt vid en momentan avlastning av systemet. Det lämpligaste är därför inkopplandet av induktiv belastning i Danmark, vare sig genom stora reaktansspolar eller genom undermagnetiserade synkronmotorer. De synkronmotorer, som behövas för faskompensering vid fullast, böra placeras ute i ändpunkterna av 50 kV-linjerna och äro således icke att räkna med vid en urkoppling av dessa linjer. Det är därför lämpligt att räkna med så stora reaktansspolar, att de vid tomgång kunna hålla ned spänningen till normalvärdet, även om hela 50 kV-systemet är frånkopplat. Spolarna böra placeras, där nedtransformering från 132 kV till 50 kV sker, och eventuellt anordnas för automatisk ur- och inkoppling. Dessa reaktansspolar bli både billiga i anläggning och bekväma i drift. Installationskostnaderna för dylika spolar finnas närmare angivna i bilagan rörande transformatoranläggningarna och deras utrustning. Sammanlagda behovet av reaktansspolar angives av kurvan R_1^0 i fig. 1 och 5 som funktion av spänningen vid Köpenhamn. Därest det skulle för kompensering av spänningsfallet i fördelningslinjerna vara önskvärt att vid låg belastning hålla lägre spänning än vid fullast, kräves härför, som synes av kurvan, endast obetydligt ökad induktiv belastning, vilken utan svårighet erhålles från tomgående transformatorer och undermagnetiserade synkronmotorer å 50 kV-systemet, vilka samtliga under tider för låg belastning kunna vara anslutna.

Ekonomiskt gynnsammaste spänningsreglering.

För Nore—Köpenhamn enbart.

Med hänsyn enbart till förlusterna skola förlustkurvans minimum enligt fig. 2 resp. 6 utvisa den gynnsammaste spänningsregleringen. Det är emellertid icke endast förlusterna, utan även anläggningskostnaderna, som man måste taga hänsyn till för att få reda på den ekonomiskt gynnsammaste spänningsregleringen. Allt efter den spänningsreglering, som tillämpas, ändras först och främst synkronmotorernas storlek och därmed anläggningskostnaden, men även såväl kostnaden för reaktansspolar, för transformatorer och för generatorer i Nore som generatorförlusterna i Nore. Variationen så-

väl i överföringsförluster som i anläggningskostnader kan sammanställas till en kurva över variationen i årskostnad, varvid 10 % på anläggningskostnaderna motsvarar årskostnaden. I fig. 3 resp. 7 finnas dylika kurvor K_1 över årskostnadens variation med mottagningsspänningen, uttryckt i svenska kronor per överfört nyttigt kilowattår, och med kostnaden vid 132 kV linjespänning vid Köpenhamn vald till nollpunkt å kostnadsskalan.

Av dessa kurvor framgår, att det gynnsammaste resultatet ernås vid en, i synnerhet vid den lägre belastningen (utvecklingsstadium III), starkt fallande spänningsreglering. När belastningen växer över 60 MW, uppnår man snart den punkt, då planreglering blir ekonomiskt lämpligast, och vid ännu större belastning skulle vid oförändrat 132 kV spänning i Nore t. o. m. en stigande spänningsreglering teoretiskt vara motiverad. Vid stigande spänningsreglering ökar kapacitetsströmmen och minskar wattströmmen, vilka bägge faktorer vid ifrågavarande stora belastningar (1,5 Amp/mm²) medverka till minskade förluster i så hög grad, att de väl betala kostnaderna för ytterligare behövliga synkronmotorer.

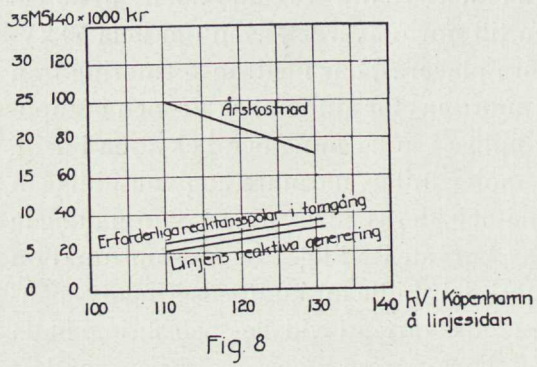


Fig. 8

Kraftöverföringen Köpenhamn—Kalundborg. Inverkan av linjespänningen vid Köpenhamn å årskostnader m. m.

För Nore—Köpenhamn—Kalundborg.

Hittills behandlade kurvor och diagram äro schematiserade så, att hela Danmarks belastning reducerats till Köpenhamn. I verkligheten skall emellertid en större del av effekten genom en 132 kV-linje överföras till Kalundborg och efter transformering vidare. Linjen Köpenhamn—Kalundborg kommer att i viss mån ändra de för linjen Nore—Köpenhamn härledda resultaten. I stort sett kommer linjen Köpenhamn—Kalundborg att verka såsom en kapacitiv belastning placerad i Köpenhamn. I diagrammet fig. 8 ha Kalundborgslinjens förhållanden angivits som funktion av spänningen. Resultatet

blir minskade årskostnader vid stigande spänning. Ett belopp motsvarande kostnadsminskningen har nu frångdragits de beräknade kostnaderna för Nore—Köpenhamn, och med ledning av resultatet har variationen i total årskostnad per överfört nyttigt kWår uppritats i fig. 3 och 7 (kurvorna K_2). Aven för dessa kurvor hava kostnaderna vid planreglering valts till noll-punkt å kostnadsskalan. När hänsyn tages till linjen Köpenhamn—Kalundborg, kommer minimipunkten att flyttas, så att den ekonomiskt gynsammaste spänningsregleringen ligger väsentligt närmare planreglering. Ett fullbelastat överföringssystem Nore—Köpenhamn—Kalundborg av det utförande som föreslagits bör således köras med planreglering. Vid mindre belastning medför det dock någon fördel att köra med spänningsfall i linjen.

Det bör emellertid beaktas, att kurvan i omgivningen av minimum är så flack, att rätt stora avvikelser i fråga om spänningsreglering inverka procentuellt obetydligt på årskostnaden. Då kraftkostnaden i Köpenhamn utgör cirka 150 svenska kr. per kWår representerar en ändring av årskostnaden med 1 kr. per kWår ej mer än $^2/_3$ procent av totalkostnaden för kraften.

För 50 kV-systemet på Jylland och Fyen.

Överföringssystemet för 50 kV, omfattande linjerna Kalundborg—Aarhus—Aalborg och Kalundborg—Odense—Kolding—Aarhus, uppvisar väsentligt andre karakteristikor än 132 kV-systemet. På grund av den låga spänningen spelar kapacitetsströmmen här trots kabelsträckorna mindre roll. Att ordna systemet för planreglering har därför visat sig medföra så stora synkronmotorer på de olika förbrukningsplatserna, att det blir oekonomiskt. Undersökningen av detta system har därför endast omfattat vissa måttliga storlekar på synkronmotorer ute i belastningspunkterna, sammanlagt varierande från 10 till 17,5 MS, motsvarande ett största spänningsfall (från Kalundborg till Aalborg) av 15 resp. 7 %.

Tre alternativa storlekar på synkronmotorerna, nämligen 10, 13,75 och 17,5 MS, hava genomräknats för utvecklingsstadium III. Resultatet har sammanställts i tablå 1, där spänning samt förbrukade MW och MS angivas för olika punkter och linjesträckor. I varje belastningspunkt räknas med lika stor förbrukning av MS som av MW (d. v. s. $\cos \varphi = 0{,}7$). Kostnadsberäk-

ningen har visat, att det är lämpligast att använda synkronmotorer på c:a 13,75 MS, men att kostnadsskillnaden mellan de tre undersökta fallen är ganska liten.

Beräkningar för det föreslagna överföringssystemet i dess olika utvecklingsstadier.

Utvecklingstadiet III: 42,000 kW nyttig förbrukning i Danmark.

Genom de föregående undersökningarna har det mest ekonomiska driftsättet för de olika delarna av anläggningen klarlagts. I anslutning härtill har sedan det definitiva överföringssystemet vid 42,000 kW i Danmark genomräknats och data härför återfinnas i tablå 2. Dessa beräkningar skilja sig från de föregående huvudsakligen däri, att för de olika transformatoranläggningarna räknas med förekommande transformatorstorlekar och ett därefter bestämt antal enheter, d. v. s. transformatoreffekten ändras stegvis och ej kontinuerligt efter belastningen. En något fallande spänningsreglering, som enligt föregående ger minimum av årskostnad, har valts vid beräkningarna.

Tablå 2 visar förhållandena dels vid tomgång, dels vid fullast för såväl detta som tre andra utvecklingsstadier. Under normal drift förekommer aldrig absolut tomgång, utan det här genomräknade fallet utgör ett gränsvärde, när alla fördelningslinjer och tomgående transformatorer äro bortkopplade, ett drifttillstånd, som anläggningen endast vid störningar närmar sig. Vid fullast krävas synkronmotorer endast i Aalborg och Kolding på 6 MVA å vardera platsen. Vid låg belastning kunna dessa motorer genom undermagnetisering konsumera induktiv ström intill hälften av sitt kVA-tal. För spänningsreglering vid absolut tomgång kräves emellertid därutöver en viss induktiv belastning i Kolding och Aarhus, vilken dock i normala fall i mer än tillräcklig omfattning finnes ansluten i form av obetydligt belastade transformatorer m. m. å fördelningslinjerna. Skulle emellertid samtliga utgående linjer från Aarhus resp. Odense kopplas ifrån, så måste anordningar för att hindra spänningsstegring å de långa sjökablarne finnas, och detta sker billigast och bäst genom reaktansspolar i Aarhus och Odense, vilka kunna genom reläer automatiskt till- och frånkopplas.

Vid Köpenhamn erfordras vid fullast inga synkronmotorer, däremot måste vid tomgång en rätt stor induktiv belastning anslutas till 132 kV-linjen. Större delen av denna belastning förefinnes nog vid praktisk tomgång, men vid fullständig frånkoppling måste reaktansspolar förefinnas i så stor utsträckning, att spänningstegring förhindras. Dessa reaktansspolar skola placeras så, att de under alla omständigheter kunna tillkopplas och hindra spänningsstegring, även om all annan anslutning frånkopplas. Huruvida spolarna skola placeras vid Köpenhamn eller Kalundborg blir därför beroende på huru ställverk och reläer ordnas på dessa bägge ställen. Om man kan räkna med att Köpenhamn alltid är tillkopplat till 132 kV-linjen, vore det lämpligaste att placera alla spolarna där. Kan man ej förutsätta detta, vore en spole på 12 MVA i Kalundborg och två på vardera 12 MVA vid Köpenhamn en användbar anordning. Då kan Kalundborg, om undantagsvis så skulle krävas, matas separat medelst enkellinje Nore—Kalundborg utan risk för spänningsstegring vid tomgång. Ordnas reaktansspolarna för automatisk in- och urkoppling med spänningsreläer, och förses till yttermera visso brytarna för kabelsträckorna med reläer, som koppla ur kablarna vid överspänning, så ernås full trygghet mot spänningsstegring över 50 kV å kablarna.

Utvecklingsstadiet IV: 52,500 kW nyttig förbrukning i Danmark.

I tablå 2 finnes även detta belastningsfall fullständigt genomräknat. För att få full analogi har räknats med samma spänningsreglering som i föregående fall både för 50 kV- och 132 kV-systemet, men som påpekats blir det ekonomiska resultatet praktiskt taget detsamma, även om man övergår till planreglering på 132 kV-systemet. Behovet av synkronmotorer har i detta utvecklingsstadium ökats, så att dylika krävas även i Aarhus och Odense samt i Köpenhamn. Förhållandena vid tomgång bli desamma som i föregående utvecklingsstadium; det är endast att observera, att eventuellt den ökade synkronmotoreffekten kan, om så befinnes lämpligt, utnyttjas i stället för reaktansspolarna för att hålla ned spänningen i tomgång.

Utvecklingsstadium Va: 105,000 kW nyttig förbrukning i Danmark, ledningsarean förstärkt till 400 mm² aluminium + 90 mm² stål.

Linjen Nore—Kalundborg har i mekaniskt hänseende beräknats för framtida ombyggnad till 490 mm² stålaluminiumlina, varför det även är av intresse att klarlägga, huru spänningsreglering och förluster m. m. ställa sig, när systemet i detta utbyggnadsstadium blir fullbelastat. För detta fall har det räknats med fördubblad belastning gentemot utvecklingsstadium IV. Då stadium IV representerar ungefär full belastning av 50 kV-systemet, har det förutsatts, att i stadium V 50 kV-systemet dubbleras, så att alla linjer bli dubbellinjer i stället för enkellinjer och alla stationer få dubbel storlek. I tablå 2 finnas alla data för detta belastningsstadium sammanställda i fjärde kolumngruppen. Storleken av såväl synkronmotoreffekten, vilken här bör fördelas på Köpenhamn och Trollhättan, som förlusterna visar att en dylik belastning är ungefär den praktiska gränsen för 132 kV-systemet och att man redan vid denna belastning bör ifrågasätta övergång till högre spänning.

Utvecklingsstadium Vb: 105,000 kW nyttig förbrukning i Danmark, överförda med 220 kV enkellinje (4 linor à 400 mm² aluminium + 90 mm² stål).

Överföringsförhållandena vid 220 kV framgå av de sista kolumngrupperna i tablå 2. Belastningen är i detta utvecklingsstadium Vb densamma, 105,000 kW i Danmark, som i Va, och 50 kV-systemet inom Danmark är detsamma, men överföringslinjen är enkellinje för 220 kV (med en lina i reserv). I detta fall krävas inga synkronmotorer i Trollhättan och även i Köpenhamn har det för regleringen behövliga kVA-talet väsentligt minskats. Överföringens verkningsgrad är också betydligt bättre än i Va. En jämförelse mellan förhållandena i Va och Vb visar också, att med ifrågavarande överföringsdistans på 660 à 970 km 220 kV är en väsentligt lämpligare spänning, så snart effektbeloppen bli tillräckliga.

»Strömkartor« för hela överföringssystemet.

För att åskådligt framställa huru såväl den nyttiga produktionen och konsumtionen av MW och MS som förlusterna ställa sig vid de olika utveck-

lingsstadierna, ha »strömkartor« uppgjorts för hela överföringen, fig. 9—12. Antalet MW och MS angives genom »strömmens« bredd räknat från den grövre baslinjen. Den heldragna linjen anger MW och den prickade MS. Allt efter som MS-leveransen går i samma eller motsatt riktning mot MW-leveransen ligger MS-»strömmen« på samma eller på motsatt sida om baslinjen som MW-»strömmen«. En åskådlig bild av huru fasförskjutningen varierar utefter linjerna erhålles då direkt av MW- och MS-»strömmarnas« inbördes förhållande.

Förhållandena vid omtransformering till 50 kV i Hälsingborg.

De resultat, som framgå av utredningarna för sträckan Nore—Köpenhamn, kunna praktiskt taget anses gälla även för Nore—Hälsingborg. Det längre 50 kV-systemet medför emellertid större svårigheter, framför allt större förluster och större behov av synkronmotorer, såsom framgår av i huvudutlåtandet angivna siffror (tabell C). Den lämpligaste spänningsregleringen har i detta fall befunnits vara planreglering med 132 kV Nore—Hälsingborg och planreglering Hälsingborg—Kalundborg med 50 kV samt fallande spänning Kalundborg-Aalborg från 50 till 46 kV.

Synkroniseringsförmågan och stabiliteten i driften.

För att ernå stabil parallelldrift mellan kraftverket i Nore och de ångkraftverk, som taga toppbelastningarna i Danmark, fordras att linjens disponibla överföringsförmåga är tillräckligt stor för att den behövliga synkroniseringseffekten skall kunna överföras. Inom utskottet har denna fråga grundligt diskuterats och undersökts. Den hittills vanligast använda formeln för att bestämma den synkroniseringseffekt, som linjen kan överföra, torde vara den av Stone angivna. Synkroniseringseffekten är enligt denna

$$P_s = \frac{V_1 \cdot V_2 \cdot x}{z^2} \cdot \cos \theta$$

där V_1 resp. V_2 är spänningen i kraftverket resp. mottagningsplatsen, x är överföringens totala reaktans och z dess totala impedans samt θ är vinkeln mellan spänningsvektorerna V_1 och V_2. Som undre gränsvärde på P_s kan

sättas den mindre centralens effekt, således den synkroniserande och den normala effekten lika. I allmänhet är stabil drift att påräkna, om θ icke överstiger 30 à 40°. Dessa regler gälla för direkta förbindelselinjer mellan två kraftverk, under det att här gäller en överföringslinje med såväl synkronmotorer som kraftverk, placerade utefter linjen. De verkställda undersökningarna visa, att i ett dylikt fall stabiliteten å envar av de linjesträckor, som ligga mellan de olika stationerna, bör kontrolleras för sig, härvid förutsatt, att dessa äro av ungefär samma storleksordning som de överförda effekterna, vilket också är fallet för samtliga här tillkopplade stationer. I ett dylikt fall spelar det ingen roll, huru stor vinkeln blir mellan spänningsvektorerna i de yttersta ändpunkterna av linjen. Det kan med andra ord ernås god parallelldrift med huru stora värden på totala fasvinkeln som helst, endast delvinklarna hålla sig inom måttliga värden. Föreliggande system kommer trots dess betydande längd icke att erbjuda några svårigheter för en god parallelldrift.

Stockholm, i november 1922.

W. BORGQUIST *STEN VELANDER*

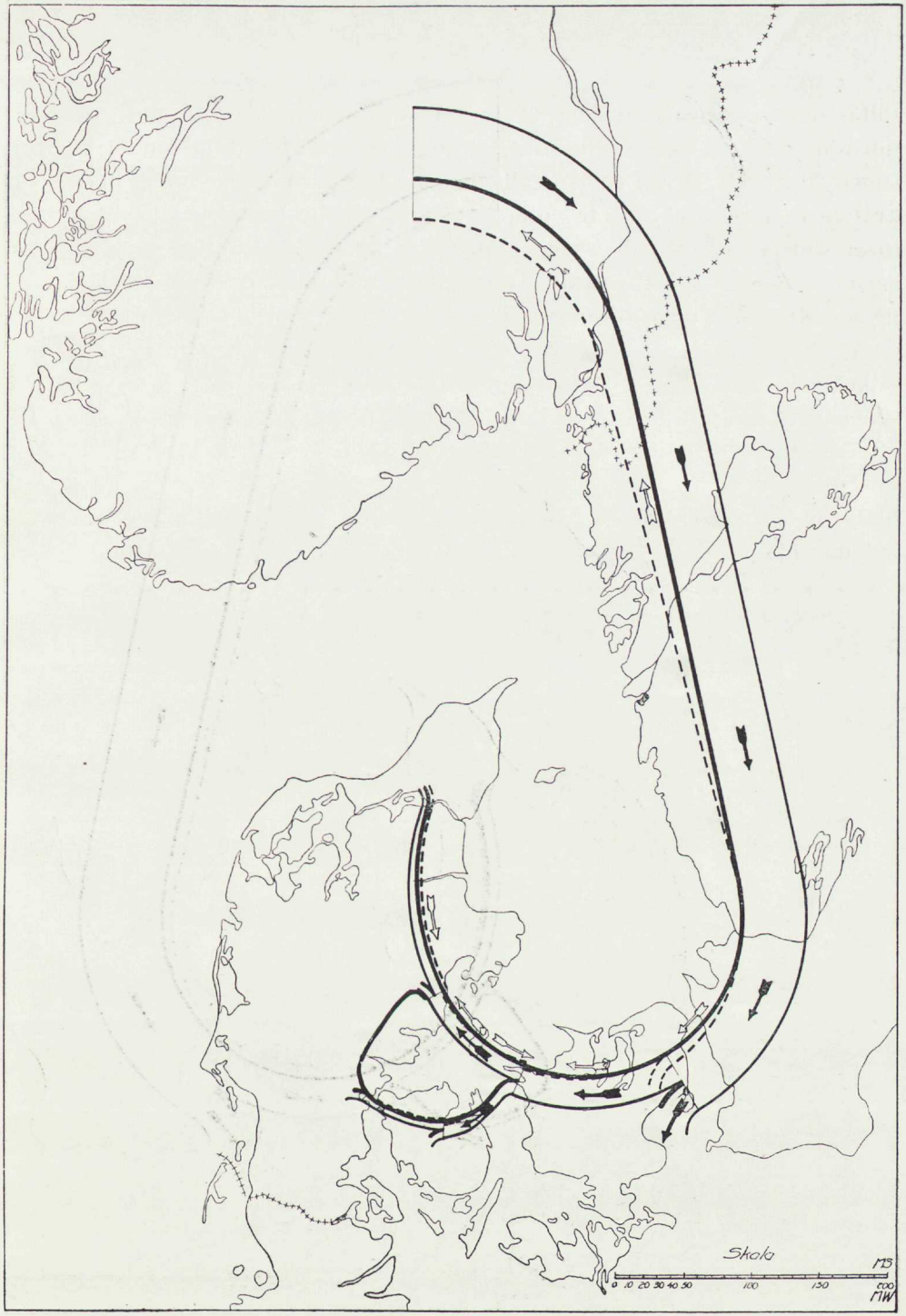


Fig. 9. Strömkarta för alt. D III: 42,000 kW nyttig förbrukning i Danmark.

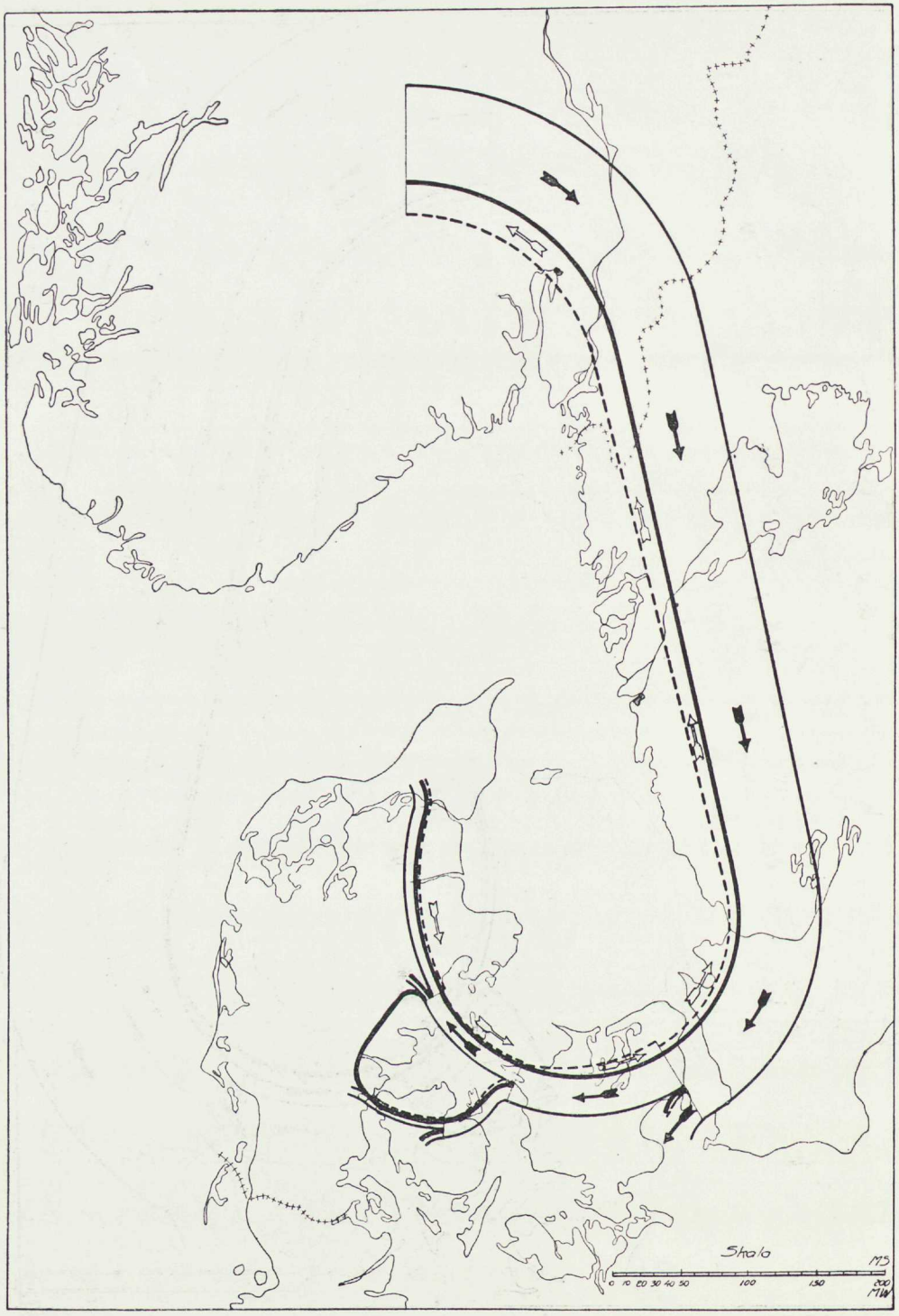


Fig. 10. Strömkarta för alt. D IV: 52,500 kW nyttig förbrukning i Danmark.

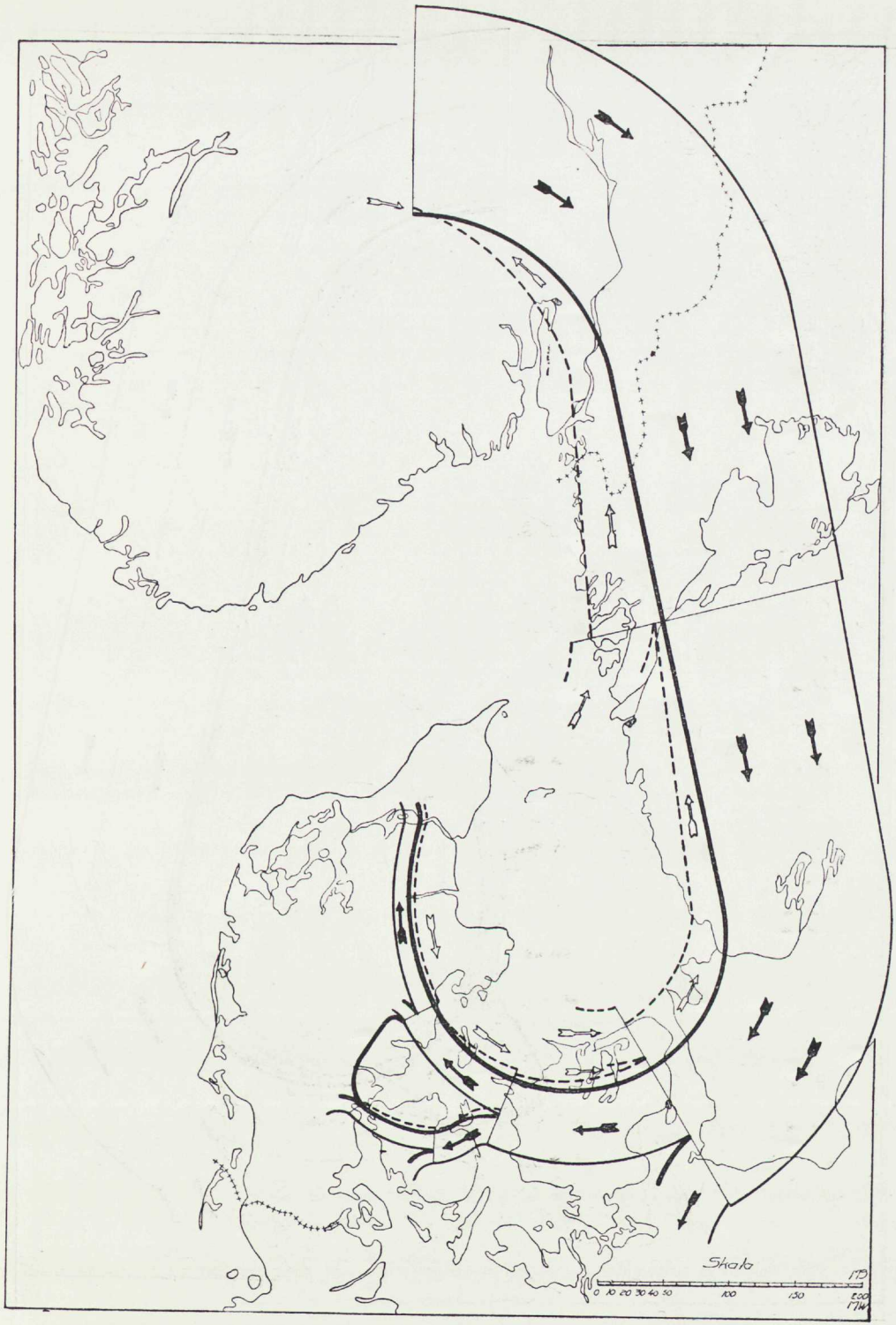


Fig. 11. Strömkarta för alt. D Va: 105,000 kW nyttig förbrukning i Danmark, överförda med 132 kV dubbellinje.

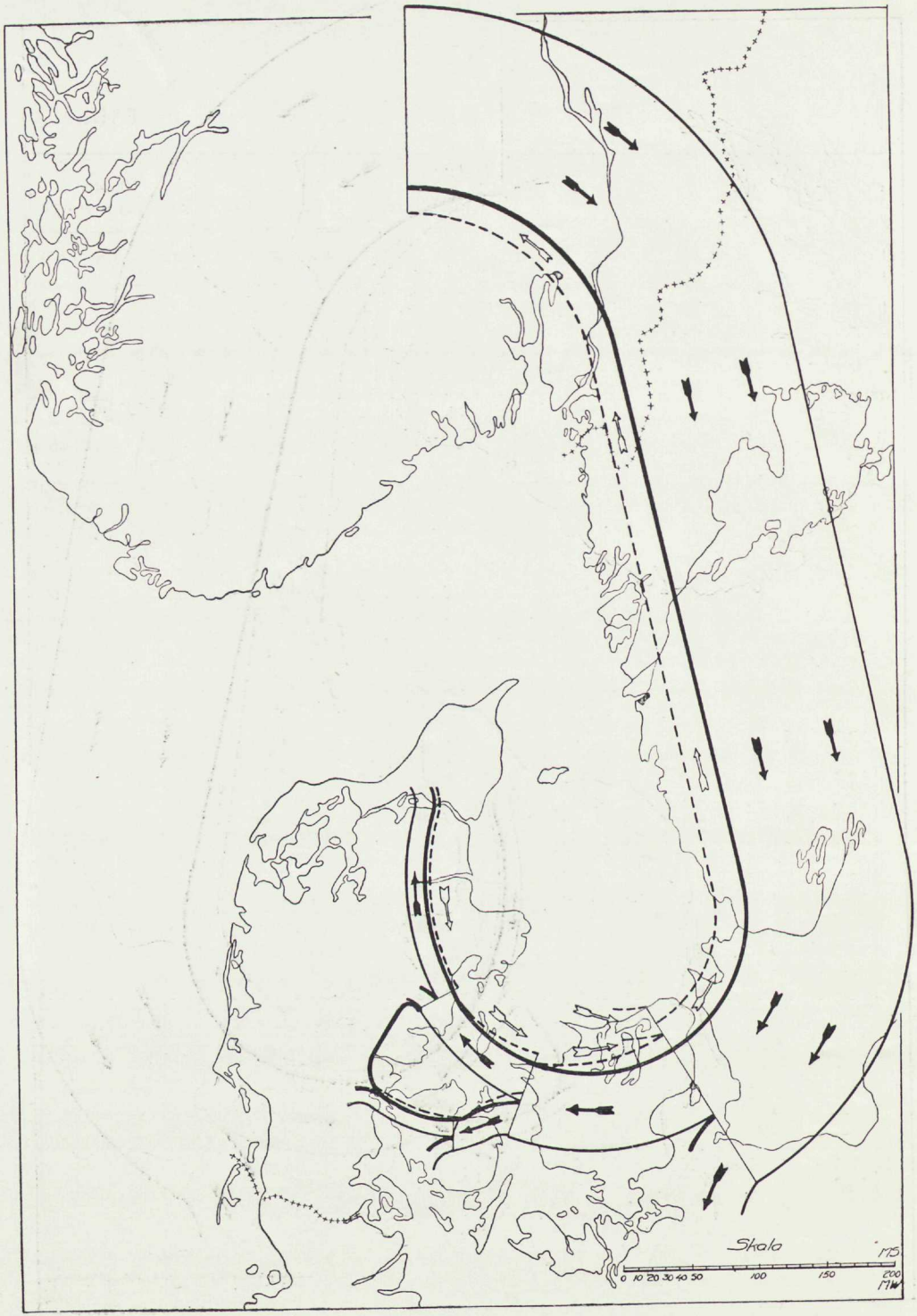


Fig. 12. Strömkarta för alt. D Vb: 105,000 kW nyttig förbrukning i Danmark, överförda med 220 kV enkellinje.

TABLÅ 1.

		17,5 MS synkronmotorer			13,75 MS synkronmotorer			10 MS synkronmotorer		
		MW	MS	kV	MW	MS	kV	MW	MS	kV
Aalborg	konsumtion . . .	5,00	+ 5,00	—	5,00	+ 5,00	—	5,00	+ 5,00	—
	synkronmotorer .	0,36	— 6,00	—	0,33	— 5,50	—	0,30	— 5,00	—
Aarhus—Aalborg	i Aalborg	5,36	— 1,00	46,4	5,33	— 0,50	44,6	5,30	0,00	42,6
	förluster	0,40	— 0,10	2,3	0,40	— 0,05	2,8	0,43	+ 0,04	3,4
	i Aarhus	5,76	— 1,10	48,7	5,73	— 0,55	47,4	5,73	+ 0,04	46,0
½ Aarhus—Kolding	i Aarhus	—	— 0.35	48,7	—	— 0,33	47,4	—	— 0,32	46,0
Aarhus	konsumtion . . .	5,00	+ 5,00	—	5,00	+ 5,00	—	5,00	+ 5,00	—
	synkronmotorer .	0,21	— 3,50	—	0,11	— 1,75	—	—	—	—
Kallundborg—Aarhus	i Aarhus	10,97	+ 0,05	48,7	10,84	+ 2,37	47,4	10,73	+ 4,72	46,0
	förluster	0,65	— 5,20	1,3	0,62	— 5,10	2,6	0,63	— 4,86	4,0
	i Kalundborg . .	11,62	— 5,15	50,0	11,46	— 2,73	50,0	11,36	— 0,14	50,0
½ Aarhus—Kolding	i Kolding	—	— 0,35	48,5	—	— 0,35	47,9	—	— 0,34	47,4
Kolding	konsumtion. . . .	5,00	+ 5,00	—	5,00	+ 5,00	—	5,00	+ 5,00	—
	synkronmotorer .	0,30	— 5,00	—	0,30	— 5,00	—	0,30	— 5,00	—
Odense—Kolding	i Kolding	5,30	— 0,35	48,5	5,30	— 0,35	47,9	5,30	— 0,34	47,4
	förluster	0,10	— 0,51	0,6	0,10	— 0,48	0,6	0,10	— 0,46	0,6
	i Odense	5,40	— 0,86	49,1	5,40	— 0,83	48,5	5,40	— 0,80	48,0
Odense	konsumtion . . .	4,00	+ 4,00	—	4,00	+ 4,00	—	4,00	+ 4,00	—
	synkronmotorer .	0,18	— 3,00	—	0,09	— 1,50	—	—	—	—
Kalundborg—Odense	i Odense	9,58	+ 0,14	49,1	9,49	+ 1,67	48,5	9,40	+ 3,20	48,0
	förluster	0,30	— 3,55	0,9	0,29	— 3,52	1,5	0,30	— 3,48	2,0
	i Kalundborg . .	9,88	— 3,41	50,0	9,78	— 1,85	50,0	9,70	— 0,28	50,0
Transformatorn i Kalundborg	lågspänningssida.	21,50	— 8,56	50,0	21,24	— 4,58	50,0	21,06	— 0,42	50,0

TABLÅ 2. **Belastningar, förluster och spänningar vid**

		120—132 kV						
		Tomgång			Belastning Stadium III 42 000 kW			
		MW	MS	kV	MW	MS	kV	
Aalborg	konsumtion	—	—		5,00	+ 5,00		
	synkronmotorer	0,24	+ 3,00		0,36	— 6,00		
Aarhus—Aalborg	i Aalborg	0,24	+ 3,00	44,0	5,36	— 1,00	44,2	1
	förluster	0,10	— 0,50	2,7	0,43	— 0,10	2,5	
	i Aarhus	0,34	+ 2,50	46,7	5,79	— 1,10	46.7	
Aarhus—Kolding	halva linjen i Aarhus	—	— 0,33	46,7	—	— 0,32	46,7	
Aarhus	konsumtion	—	—		5,00	+ 5,00		
	reaktansspolar	0,07	+ 6,50		—	—		
	synkronmotorer	—	—		—	—		
Kalundborg—Aarhus	i Aarhus	0,41	+ 8,67	46,7	10,79	+ 3,58	46,7	2
	förluster	0,16	— 6,07	3,3	0,63	— 4,97	3,3	
	i Kalundborg	0,57	+ 2.60	50,0	11,42	— 1,39	50,0	
Aarhus—Kolding	halva linjen i Kolding	—	— 0,35	47,9	—	— 0,34	48,2	
Kolding	konsumtion	—	—		5,00	+ 5,00		
	synkronmotorer	0,16	+ 2,00		0,36	— 6,00		
Odense—Kolding	i Kolding	0,16	+ 1,65	47,9	5,36	— 1,34	48,2	3
	förluster	0,01	— 0,80	0,7	0,11	— 0,46	0,1	
	i Odense	0,17	+ 0,85	48,6	5,47	— 1,80	48,3	
Odense	konsumtion	—	—		4,00	+ 4,00		
	reaktansspolar	0,05	+ 5,00		—	—		
	synkronmotorer	—	—		—	—		
Kalundborg—Odense	i Odense	0,22	+ 5.85	48,6	9,47	+ 2,20	48,3	4
	förluster	0,05	— 4,10	1,4	0,30	— 3,44	1,7	
	i Kalundborg	0,27	+ 1,75	50,0	9,77	— 1,24	50,0	
Kalundborg	lågspänningssidan	0,84	+ 4,35	50/125	21,19	— 2,63	50/125	
	förluster i transf.	0,21	+ 2,08	2,2	0,33	+ 3,81	— 0,1	
	högspänningssidan	1,05	+ 6,43	127,2	21,52	+ 1,18	124,9	
Köpenhamn-Kalundborg	i Kalundborg	1,05	+ 6,43	127,2	21,52	+ 1,18	124,9	5
	förluster	—	— 8,50	0,5	0,22	— 7,55	0,8	
	i Köpenhamn	1,05	— 2,07	127,7	21,74	— 6,37	125,7	
Köpenhamn — *Sjælland och Lolland—Falster*	konsumtion	—	—		8,00	+ 5,00		
	induktiv belastning	0,15	+14,50		—	—		
	synkronmotorer	—	—		—	—		
	lågspänningssidan	0,15	+14,50	48,2/120,2	8,00	+ 5,00	49,1/122,8	6
	förluster i transf.	0,25	+ 2,76	7,5	0,22	+ 2,30	2,9	
	högspänningssidan	0,40	+17,26	127,7	8,22	+ 7,30	125,7	
Köpenhamn — *Köpenhamn och Frederiksberg*	konsumtion	—	—		15,0	+ 5,00		
	induktiv belastning	0,15	+14,50		—	—		
	synkronmotorer	—	—		—	—		
	lågspänningssidan	0,15	+14,50	27,8/120,2	15,0	+ 5,00	28,2/122,2	7
	förluster i transf.	0,25	+ 2,76	7,5	0,26	+ 2,95	3,5	
	högspänningssidan	0,40	+17,26	127,7	15,26	+ 7,95	125,7	
Trollhättan-Köpenhamn	i Köpenhamn	1,85	+32,45	127,7	45,22	+ 8,88	125,7	
	förluster	0,55	—28,05	10,6	3,18	—19,28	8,5	
	i Trollhättan	2,4	+ 4,4	138,3	48,4	—10,4	134,2	
Trollhättan	synkronmotorer & transf.	—	—		—	—		
Nore—Trollhättan	i Trollhättan	2,4	+ 4,4	138,3	48,4	—10,4	134,2	
	förluster	0,5	—32,2	— 6,3	4,1	—19,3	— 2,2	
	i Nore	2.9	—27,8	132,0	52,5	—29,7	132,0	

olika utvecklingsstadier i alternativ D.

	120—132 kV						220 kV					
	Belastning						Tomgång			Belastning		
	Stadium IV 52 000 kW			Stadium Va 105 000 kW						Stadium Vb 105 000 kW		
	MW	MS	kV	MW	MS	kV	MW	MS	kV	MW	MS	kV
	6,25	+ 6,25		12,5	+12,5					12,5	+12,5	
	0,48	— 8,00		1,0	—16,0					1,0	—16,0	
1	6,73	— 1,75	44,2	13,5	— 3,5	44,2				13,5	— 3,5	44,2
	0,70	+ 0,44	2,8	1,4	+ 0,9	2,8				1,4	+ 0,9	2,8
	7,43	— 1,31	47,0	14,9	— 2,6	47,0				14,9	— 2,6	47,0
	—	— 0,33	47,0	—	— 0,7	47,0				—	— 0,7	47,0
	6,25	+ 6,25		12,5	+12,5					12,5	+12,5	
	—	—		—	—					—	—	
	0,21	+ 3,50		0,4	— 7,0					0,4	— 7,0	
2	13,89	+ 1,11	47,0	27,8	+ 2,2	47,0				27,8	+ 2,2	47,0
	1,06	— 4,02	3,0	2,1	— 8,0	3,0				2,1	— 8,0	3,0
	14,95	— 2,91	50,0	29,9	— 5,8	50,0				29,9	— 5,8	50,0
	—	— 0,35	48,3	—	— 0,7	48,3				—	— 0,7	48,3
	6,25	+ 6,25		12,5	+12,5					12,5	+12,5	
	0,42	— 7,00		0,8	—14,0					0,8	—14,0	
3	6,67	— 1,10	48,3	13,3	— 2,2	48,3				13,3	— 2,2	48,3
	0,16	— 0,33	0,5	0,3	— 0,7	0,5				0,3	— 0,7	0,5
	6,83	— 1,43	48,8	13,6	— 2,9	48,8				13,6	— 2,9	48,8
	5,00	+ 5,00		10,0	+10.0					10,0	+10,0	
	—	—		—	—					—	—	
	0,24	— 4,00		0,5	— 8,0					0,5	— 8,0	
4	12,07	— 0,43	48,8	24,1	— 0,9	48,8				24,1	— 0,9	48,8
	0,49	— 3,06	1,2	1,0	— 6,1	1,2				1,0	— 6,1	1,2
	12,56	— 3,49	50,0	25,1	— 7,0	50,0				25,1	— 7,0	50,0
	27,51	— 6,40	50/125	55,0	—12,8	50/131,0	0,0	0,0	49,5/219,2	55,0	—12,8	50/221,3
	0,43	+ 5,20	— 1,5	0,9	+10,4	— 1,5	0,5	+ 4,8	1,1	0,8	+11,1	— 1,8
	27,94	— 1,20	123,5	55,9	— 2,4	129,5	0,5	+ 4,8	220,3	55,8	— 1,7	219,5
5	27,94	— 1,20	123,5	55,9	— 2,4	129,5	0,5	+ 4,8	220,3	55,8	— 1,7	219,5
	0,39	— 6,80	0,8	1,4	— 5,0	2,5	0,0	—13,0	— 0,3	0,5	—10,4	0,5
	28,33	— 8,00	124,3	57,3	— 7,4	132,0	0,5	— 8,2	220,0	56,3	—12,1	220,0
	10,00	+ 6,25		20,0	+12,5		—	—		57,5[1]	+25,0	
	—	—		—	—		2,2[1]	+43,3		—	—	
	0,43	— 7,25		2,1	—35,0		—	—		2,5	—49,5	
6	10,43	— 1,00	49,7/124,3	22,1	—22,5		2,2	+43,3	45,0/197,8	60,0	—24,5	51,2/226,3
	0,23	+ 2,40	0,0	0,5	+ 5,5		0,7	+ 9,5	22,2	1,0	+12,8	— 6,3
	10,66	+ 1,40	124,3	22,6	—17,0	132,0	2,9	+52,8	220,0	61,0	—11,7	220,0
	18,75	+ 6,25		37,5	+12,5					[1]		
	—	—		—	—							
	0,43	— 7,25		2,1	—35,0							
7	19,18	— 1,00	28,6/123,7	39,6	—22,5							
	0,31	+ 3,50	0,6	0,6	+ 8,0							
	19,49	+ 2,50	124,3	40,2	—14,5	132,0						
	58,48	— 4,1	124,3	120,1	—38,9	132,0	3,4	+44,6	220,0	117,3	—23,8	220,0
	5,52	—10,8	6,0	12,2	+31,9	0,0	0,3	—42,9	14,4	7,2	+ 0,9	— 1,4
	64,0	—14,9	130,3	132,3	— 7,0	132,0	3,7	+ 1,7	234,4	124,5	—22,9	218,6
	—	—		4,5	—49,4		—	—		—	—	
	64,0	—14,9	130,3	136,8	—56,4	132,0	3,7	+ 1,7	234,4	124,5	—22,9	218,6
	6,9	— 9,1	1,7	18,2	+60,4	0,0	0,4	—47,4	— 14,4	9,0	+ 6,9	1,4
	70,9	—24,0	132,0	155,0	+ 4,0	132,0	4,1	—45,7	220,0	133,5	—16,0	220,0

[1]) Gemensam transformering för Köpenhamn och Själland m. m. Köpenhamn ingår i värdena för Själland.

NORMER OCH UTFÖRANDE SAMT KOSTNADER FÖR KRAFTLEDNINGARNA.

A. Normer och utförande för 132—220 kV-linjerna.

Av linjekonstruktionen har fordrats, att den skall utan större extrakostnader medgiva en successiv utbyggnad av linjen från enkellinje för 132 kV till dubbellinje för 220 kV. Därvid har räknats med följande *utbyggnadsstadier*.

1. Enkellinje för 132 kV; tre, alt. fyra faslinor, vardera av 120 mm² koppar.
2. Dubbellinje för 132 kV; sex faslinor, vardera av 120 mm² koppar; alternativt enkellinje för 132 kV, tre faslinor vardera av 400 mm² aluminium och 90 mm² stål.
3. Dubbellinje för 132 kV; sex faslinor, vardera av 400 mm² aluminium och 90 mm² stål.
4. Dubbellinje för 220 kV; sex faslinor, vardera av 400 mm² aluminium och 90 mm² stål.

I samtliga fall förses linjen med minst en jordförbunden järnlina per tre faslinor, förlagd överst på stolparna och av minst 50 mm² area. (Vid veka bärstolpar kräves flera och grövre jordlinor än vid styva stolpar.)

Vid 132 kV räknas med en *isolatorlängd* av 1,5 m, vid 220 kV med 2,0—2,3 m.

Vid 132 kV antages *fria avståndet från nedersta linan till mark* vid + 50 ° C vara minst 6,5 m och vid + 25 ° C 7,0 m, det senare enligt de norska föreskrifterna. Vid 220 kV antages samma mått vid + 50 ° C vara 7,2 m med isolatorlängden 2,3 m.

Avståndet från strömförande lina till järn får vid 100 kg/m² vind vinkelrätt mot linjen icke understiga överslagsavståndet för dubbla huvudspänningen, motsvarande vid 132 kV minst 850 mm och vid 220 kV 1400 mm, varav i båda fallen 50 mm tillagts för ljusbågshornens halva bredd.

Den lämpligaste *spännvidden* är givetvis den, vid vilken — med ur driftsäkerhetssynpunkt fullgott utförande — årskostnaden blir lägst. I den mån spännvidden ökas, måste, om driftsäkerheten skall upprätthållas, konstruktionerna modifieras bl. a. så, att avståndet mellan isolatorerna ökas. Hittillsvarande erfarenheter inom Skandinavien tala i viss mån mot användande av mycket långa spännvidder på grund av svårigheten att vid sådana helt undvika störningar vid rimfrost och isbarksstormar. Dessa erfarenheter äro emellertid samlade från linjer med klenare dimensioner, 70 mm² koppar och därunder, och amerikansk praxis synes numera gå mot en kraftig ökning av spännvidden vid mycket höga spänningar, där endast synnerligen grova linor användas. Praxis och uppfattning rörande spännvidden är således olika på olika håll. De föreliggande utredningarna ha baserats på en medelspännvidd av 200 m, efter vilken stolphöjden på plan mark bestämts, och en maximalspännvidd av 250 m, efter vilken de stolpen påverkande belastningarna beräknats. Därigenom böra kostnaderna hava kommit på den säkra sidan.

Vad *hållfasthetsberäkningen* beträffar har antagits, att linjerna böra minst motsvara nedanstående normer.[1])

Linorna antagas enligt *belastningsfall 1* vid — 1 ° C belastade med isbark av 25 mm radiell tjocklek, räknat från linans periferi. Isbarkens volymvikt = 0,5 och vindtrycket å den på ovanstående sätt beräknade isbarkscylindern = 37,5 kg/m² med en reduktionsfaktor för cylindrisk yta = 0,6. Vindtrycket antages verka vinkelrätt mot linjen. Vid denna belastning får påkänningen i maximispannet ej överstiga följande värden:

för koppar 32 kg/mm²,
för stål proportionalitetsgränsen, dock högst 50 kg/mm² och
för aluminium 12 kg/mm².

[1]) Normerna ansluta sig i huvudsak till »Utredningar och förslag till normer för elektriska linjebyggnader«, som på uppdrag af Kungl. Vattenfallsstyrelsen utförts av särskilt utsedda sakkunnige — ingår i Tekniska meddelanden från Kungl. Vattenfallsstyrelsen ser. E nr 2 den 31 mars 1921 —; normerna hava emellertid uppställts så, att även bestämmelserna i de norska normerna komma att uppfyllas.

Enligt *belastningsfall 2* antagas linorna vid — 25 ° C belastade med en tillsatsvikt utöver linans vikt av 200 + 50 d gram per m lina (d = linans diam. i mm). Härvid skall säkerhetsgraden mot brott i linan vara = 2,5.

De givna normerna ange det ur mekanisk synpunkt tillåtna maximivärdet å uppspänningen. Vid 120 mm² kopparlinor är det motiverat att utnyttja normernas bestämmelser. Vid de grova stålaluminiumlinorna giva däremot dessa normer så stora dragkrafter, att det ansetts med hänsyn till isolatorer och vinkelstolpar motiverat att räkna med en c:a 20 % mindre uppspänningskraft.

Stolparna beräknas för egen vikt av stolpe med tillbehör, linor, belastade med isbark i enlighet med bestämmelserna under belastningsfall 1 ovan, vindtryck vinkelrätt mot linjen å de isbarksbelagda linorna = 37,5 kg/m² med reduktionsfaktor för cylindrisk yta = 0,6, och å stolpen = 62,5 kg/m², varvid stolpens vindyta genom isbarksbeläggningen antages fördubblad, samt krafter härrörande från linjens brytning, vilka skola samverka med vindtrycket; allt vid en temperatur av — 1 ° C. Samtliga linor antagas vara hela.

Reglarna kontrolleras dessutom för en rimfrostbelastning å linorna (utan vind) av 2 kg/m.

Vid ovanstående belastning får påkänningen icke överstiga följande värden:

vid dragning eller böjning	1250 kg/cm²
» skjuvning	1000 »
» hålkanttryck	1600 »

» avknäckning skall säkerhetsgraden mot brott vara minst 2,5-faldig.

Härvid förutsättes, att stolparna utföras av götjärn med en brotthållfasthet vid dragning av minst 3700 kg/cm² och med en tänjbarhet af minst 18 %.

Ovanstående normer äro närmast uppställda för stolpar med kvadratisk sektion, således med lika stor styvhet i linjeriktningen som vinkelrätt däremot. Det har vid användande av dylika stolpar icke räknats med särskilda spännstolpar, som tåla linbrott å alla linor å stolpens ena sida, räknat i linjeriktningen. Man har nämligen ansett att ett linbrott på grund av mekanisk överbelastning med ovanstående stränga fordringar på linorna är uteslutet. Vill man trygga sig mot stolpskada vid linbrott, kan detta ske t. ex. medelst brottkopplingar.

Fundamenten skola vara så dimensionerade, att de vid det för stolparna angivna belastningsfallet med tillhjälp av den omgivande jorden (högst 20° friktionsvinkel) motväga stolpens stjälpning med 1,5-faldig säkerhet.

Eventuellt kan emellertid en *skärpning av dessa normer* vara lämplig.

Den exceptionellt kraftiga isbarksstormen den 23 oktober 1921 i området kring Göteborg och Trollhättan åstadkom å kraftlinjerna inom området belastningar, som voro väsentligt större än ovan angivna. Vid en dylik isbarksstorm skulle visserligen en linje byggd enligt ovanstående normer med all sannolikhet ha förblivit oskadad, men säkerheten mot brott hade icke blivit den ovan förutsatta. Inom utskottet har därför en eventuell skärpning av normerna tagits under övervägande och hava med ledning av vattenfallsstyrelsens mätningar och observationer utarbetats följande normer, där belastningarna motsvara dem, som beräknats ha förekommit vid ifrågavarande isbarksstorm.

Linorna ha antagits vid 0° C belastade med isbark av 30 mm radiell tjocklek och en volymvikt av 0,8. Vindtrycket å linor har antagits vara $60 \times 0{,}6$ kg/m² och på stolpar 100 kg/m², räknat å stolpens verkliga yta. Påkänningen i linorna anses härvid icke få överstiga de ovan under belastningsfall 1 angivna. För stolpar och fundament antagas de tillåtna påkänningarna och erforderliga säkerhetsgraderna vid 220 kV-stadiet vara lika med de ovan för stolparna föreskrivna, men vid 132 kV-stadiet tillåtas — till undvikande av alltför stor fördyring — påkänningar, som äro 25 % större.

Kostnadsökningen vid ovan angivna skärpning av normerna stannar inom c:a 5 % av totalkostnaden för linjens anläggning med de grova och kraftiga konstruktioner det gäller vid ifrågavarande lindimensioner. Då det möjligen kan anses motiverat att betala detta pris för den ökade säkerhetsgraden, ha de i det följande angivna kostnaderna beräknats för linjer utförda efter de skärpta normerna.

Utskottet har undersökt olika *stolptypers* lämplighet för den föreslagna linjen. Beräkningar ha verkställts rörande följande tre alternativ.

a. Stolparna utföras med kvadratisk, relativt liten bas (pelarstolpar). Samtliga stolpar erhålla sålunda en viss styvhet även i linjeriktningen. Inga särskilda spännstolpar användas, som tåla ensidigt linbrott å alla linor.

b. Större antalet stolpar konstrueras relativt veka i linjeriktningen, men med bred bas och stagade i linjens riktning genom två topplinor av stål.

På ett avstånd av 1 à 1,5 km uppsättas spännstolpar, beräknade för ensidigt linbrott å alla linor.

c. Lika med a med den skillnaden, att basen gjorts bredare för erhållande av lättare fundament.

Alternativ a motsvarar den stolptyp, som använts för stamlinjen mellan Västerås och Trollhättan. Alternativ b motsvarar den stolptyp Sydsvenska Kraftaktiebolaget använt för sin stamlinje. Alternativ c slutligen är en kombination mellan de båda föregående. Av dessa alternativ har utskottet lagt

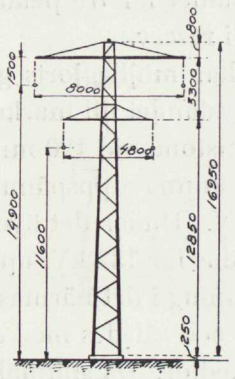


Fig. 1.

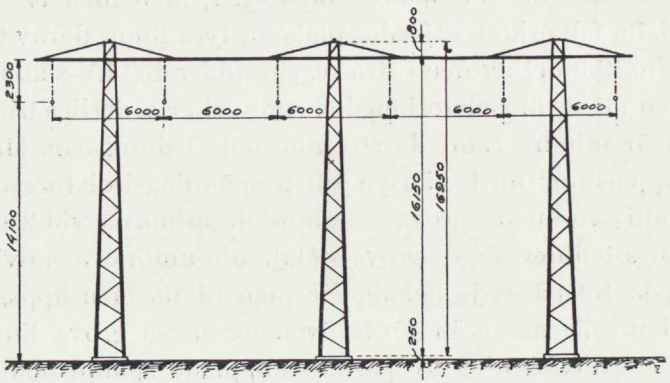


Fig. 2.

Bärstolpe av stolptyp alternativ a. Fig. 1 vid enkellinje och 132 kV; fig. 2 vid dubbellinje och 220 kV.

alternativ a till grund för beräkningarna av överföringslinjen utan att dock därmed ha gjort något definitivt val, enär vartdera av de tre alternativen kan sägas hava vissa fördelar.

Stolptyper med sex faslinor på en pelare, vilka fått stor användning i Tyskland och Amerika, hava lämnats ur räkningen, emedan de utan att medföra ekonomiska fördelar i allmänhet ej möjliggöra den önskvärda succesiva utvidgningen av linjen från enkellinje för 132 kV till dubbellinje för 220 kV.

Stolptypen alternativ a framställes å fig. 1—4, av vilka fig. 1 och 3 avse det första och fig. 2 och 4 det slutliga utbyggnadsstadiet. Som framgår av figuren, användes under första utbyggnadsstadiet en enkel stolppelare, försedd med två armar, vardera med plats för två strömförande ledningar. I toppen av stolpen upplägges en jordlina.

I andra utbyggnadsstadiet, dubbellinje för 132 kV, tillfogas ytterligare en rad pelarstolpar på sådant avstånd (12 m centrumavstånd) från den första, att en ombyggnad enligt fig. 2 framdeles kan ske.

Då spänningen ökas till 220 kV utbygges ytterligare en rad pelarstolper på samma avstånd, de undre reglarna borttagas och de övre förbindas (i plan terräng) med mellandelar, så att stolpen får det utseende som visas å fig. 2.

Därest det skulle visa sig motiverat att övergå direkt från enkellinje för 132 kV till enkellinje för 220 kV, uppsättes en ny rad pelarstolpar och stolpens utseende blir analogt med fig. 2, men med två i stället för tre pelare. I detta fall erhålles således plats för fyra linor, därav en i reserv.

Insättandet av den extra regeln under 132 kV-stadiet har möjliggjorts genom att såväl isolatorlängden som det erforderliga fria avståndet till marken då är mindre samt de strömförande ledningarna åtminstone vid 120 mm² kopparlinor med hänsyn till avspänningsisolatorerna kunna uppspännas kraftigare än de grova stålaluminiumlinorna vid 220 kV. Under det övergångsstadium, då de grova stålaluminiumlinorna användas för 132 kV, upplagda tre på varje pelare, får man räkna med uppspänning i det närmaste till normernas gränsvärde även för dessa grova linor och således med en större användning av parallellkopplade spännisolatorkedjor. Då slutmålet är dubbellinjen för 220 kV, torde det nämligen icke löna sig att enbart för detta mellanstadium öka stolphöjden.

Med den föreslagna stolptypen vinnes den fördelen, att under 132 kV-stadiet, då effektbeloppen, som linjen skall överföra, äro relativt små, endast en rad stolppelare behöves för varje linje. Under 132 kV-stadiet komma stolparna att vara utnyttjade fullt ut intill den tillåtna säkerhetsgraden, medan vid 220 kV erhålles en linje med ökad säkerhet, vilket kan anses motiverat med hänsyn till de större effektbelopp det då gäller att transportera.

Av fig. 5 framgår, vilka säkerhetsgrader som ernås för den å fig. 1 visade bärstolpen vid olika antal och area å de strömförande linorna och vid beräkning enligt följande olika normer: Svenska Teknologföreningens normer av år 1910; Sakkunnigenormerna med de större islasterna; Norska normerna; här ovan relaterade lindrigare normer (»kommitténormerna«); samt de därpå följande skärpta normerna (»skärpta kommitténormerna»). Av detta diagram framgår, att varje pelare kan uppbära, utan att i de skärpta kom-

mitténormerna angivna säkerhetsgrader överskridas, fyra linor om ända till 200 mm² koppar och tre linor om 500 mm² (400 Al + 90 Fe).

För att fullt kunna utnyttja de fördelar, som det innebär att ha en lina i reserv, när fyra linor uppläggas, bör vilken som helst av linorna, under det de andra ligga under spänning, kunna tillsammans med isolatorn nedfiras för isolatorutbyte och revision. Detta går utan vidare med de två undre, och det bör icke möta några större svårigheter att även fira ned en övre lina inkl. isolatorn förbi den underliggande spänningsförande.

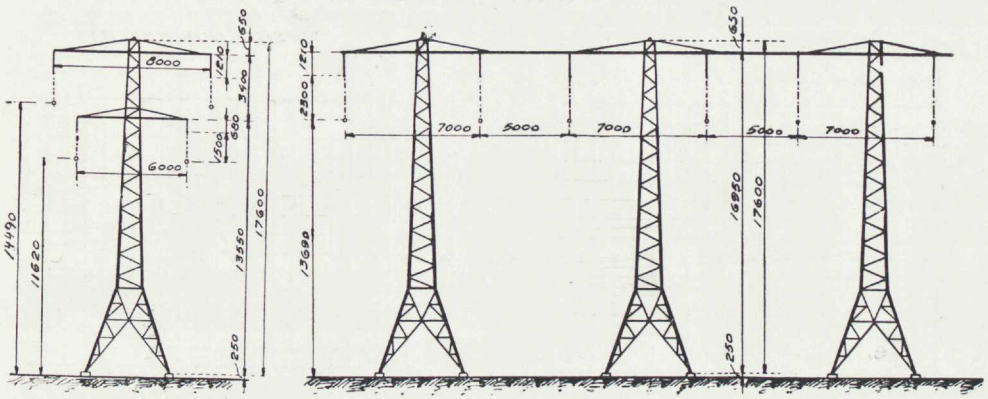


Fig. 3. Fig. 4.

Vinkelstolpe av stolptyp alternativ a, för 10° brytning.
Fig. 3 vid enkellinje och 132 kV; fig. 4 vid dubbellinje och 220 kV.

En vinkelstolpe för 10° brytning visas å fig. 3 i 132 kV-stadiet och å fig. 4 i 220 kV-stadiet. Då isolatorkedjorna på grund av vinkelbrytningen ställa sig snett, förses reglarna med vertikala konsoler för erhållande av tillräckliga avstånd från strömförande ledning till järn. Genom denna anordning kan erhållas en icke oväsentlig inbesparing av isolatorer.

Under mellanstadiet med tre grova linor å varje pelare förutsättes en provisorisk stagning av vinkelstolparna, vilka icke från början beräknats utförda för tre grova stålaluminiumlinor.

Fundamenten för samtliga stolpar hava antagits utförda i beton.

Bärstolpe enligt alternativ b visas å fig. 6 och *spännstolpe* å fig. 7. Stolparna äro avsedda för 225 meters normal spännvidd och 300 m maximal spännvidd. Stolptypen låter sig icke med fördel utbildas för 4 faslinor vid 132 kV.

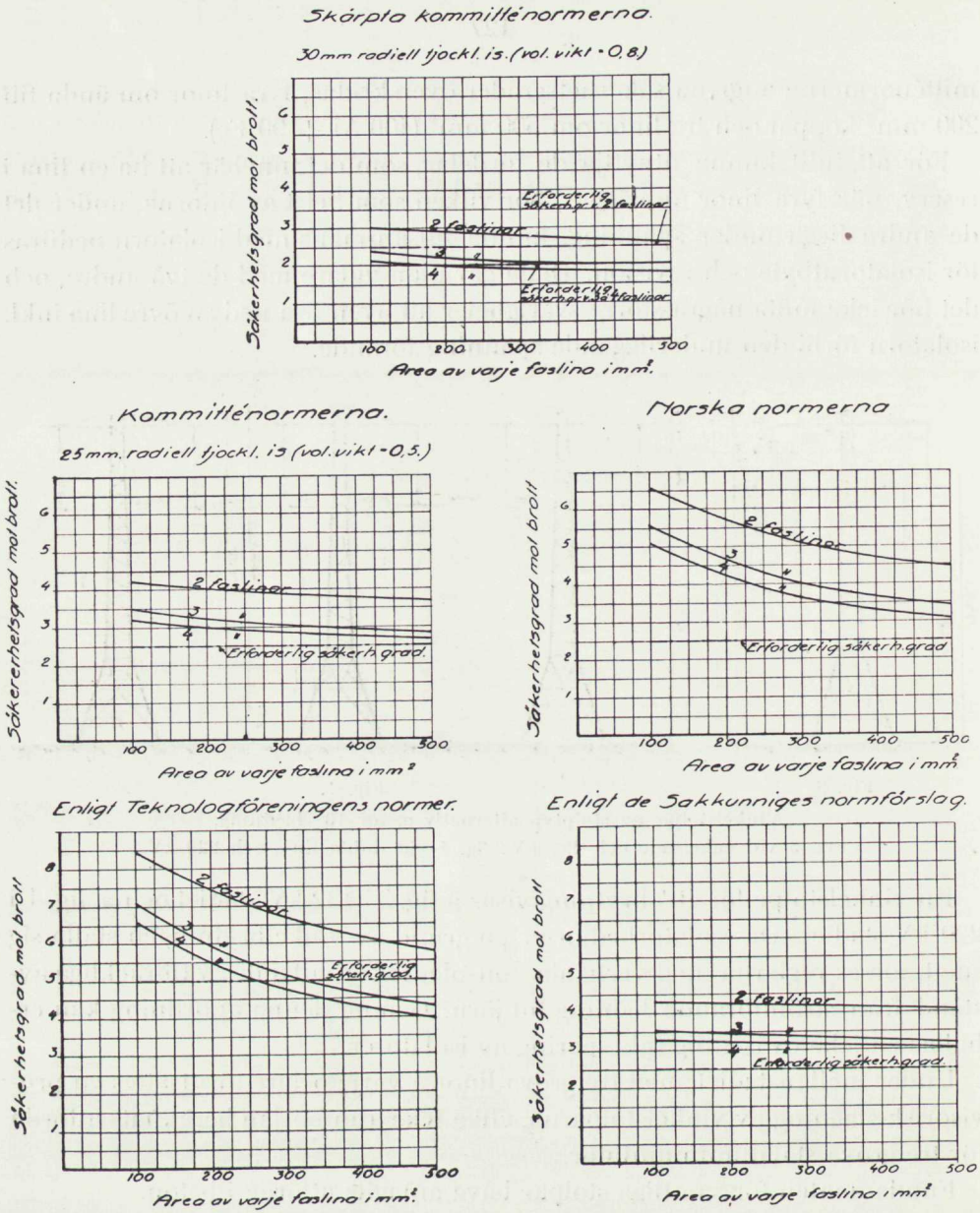


Fig. 5. Approximativ säkerhetsgrad mot brott vid upphängning av olika antal och areor av faslinor å *en* stolppelare för bärstolp alternativ a. Jordlinan antages vara 50 mm² järnlina.

Skulle denna stolptyp användas för 220 kV framdeles, får man räkna med att regeln från början ökas 0,8 m på vardera sidan och att den mellersta isolatorupphängningen icke utnyttjas för 220 kV, enär för en isolator på 2,3 m icke

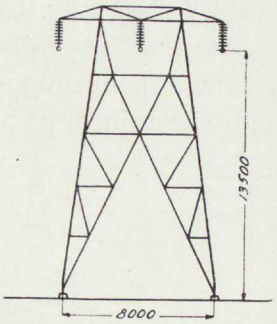


Fig. 6.

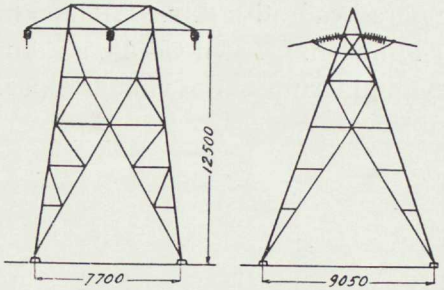


Fig. 7.

Bärstolpe. resp. spännstolpe av stolptyp alternativ b vid enkellinje och 132 kV.

kan beredas plats inuti stolpen. För att möjliggöra den slakare uppspänningen jämte det större avståndet till mark och den längre isolatorn vid 220 kV får dessutom stolphöjden ökas 3,3 m eller spännvidden minskas i motsvarande grad. Enbart med hänsyn till längre isolator och större avstånd till mark blir

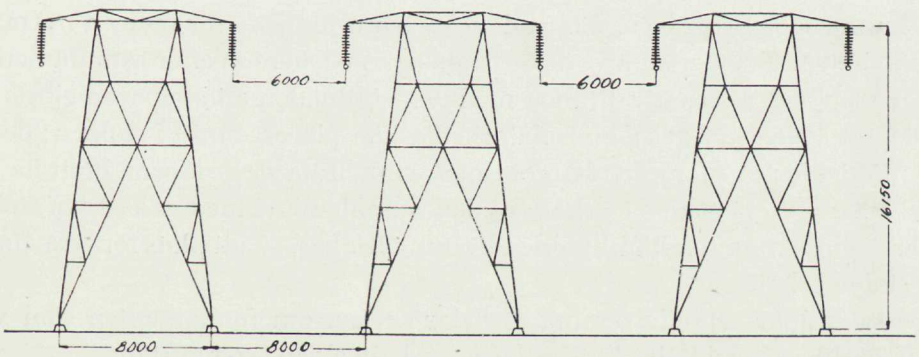


Fig. 8. Stolptyp alternativ b vid dubbellinje och 220 kV.

ökningen i stolphöjd 1,5 m eller minskningen i spännvidd 30 m. Varje stolpe kommer således att uppbära 2 faslinor för 220 kV och för dubbellinje 220 kV blir utseendet av stolplinjen det som framgår av fig. 8.

Fördelen med denna stolpkonstruktion är huvudsakligen den minskade

kostnaden för fundament. Olägenheten skulle vara, att staglinorna ingå som konstruktionselement och att bärstolparnas stabilitet således blir beroende av varaktigheten och hållbarheten av de båda 70 mm² staglinorna.

Stolparna enligt alternativ c anordnade för 220 kV visas å fig. 9. Stolpens sektion är nära kvadratisk d. v. s. stolpen har liksom i alt. a betydande styvhet i linjeriktningen. Liksom vid alt. a räknas icke med spännstolpar. Endast i större brytpunkter uppsättas vinkelstolpar. Mindre brytningar på några gra-

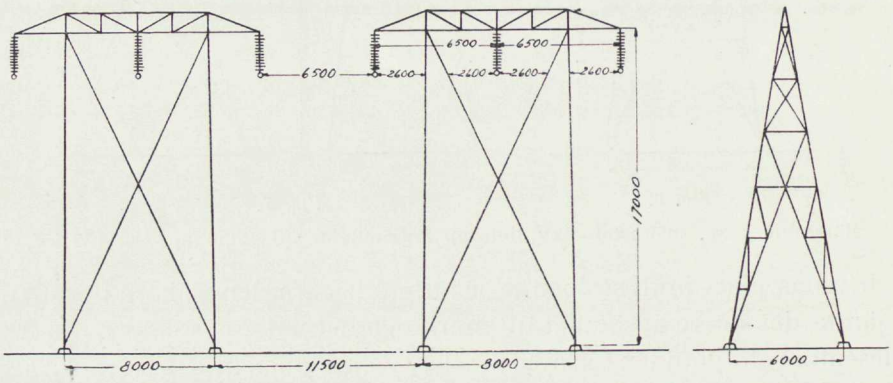


Fig. 9. Stolptyp alternativ c vid enkellinje och 220 kV.

der kunna stolparna taga, därest de icke äro utnyttjade för mer än normalspännvidden. För övrigt äro dessa stolpar konstruerade efter samma betingelser som vid alternativ b, men med den skillnaden att stolparna gjorts så breda, att även vid 220 kV en isolatorkedja kan placeras mitt i stolpen; detta har möjliggjorts genom att de mot linjen vinkelräta stolpsidorna blott ha ett fack. I 220 kV-alternativet erhålles således dubbellinje med endast två stolprader. Vid denna typ kan bredden eventuellt ökas, så att plats för fyra linor per stolpe erhålles.

Dessa stolpar erbjuda samma fördelar i fråga om fundamenten som vid alt. b, äro lika styva i linjeriktningen som vid alt. a och äro motståndskraftigare mot eventuella vridningspåkänningar än vid alt. a. Olägenheten skulle vara den breda basen, som i ojämn terräng kan föranleda svårigheter att få fundamenten i jämnhöjd.

För hittills utförda kraftlinjer inom Skandinavien ha nästan utan undantag *skyddsanordningar* utförts vid korsning med järnvägar, landsvägar, telefon- och kraftledningar. Utomlands, speciellt i Schweiz, har man börjat slopa

skyddsanordningar och i synnerhet vid kraftledningar för 100 kV och däröver ställt fordringarna på linjens mekaniska och elektriska säkerhetsgrad så höga, att det kan anses praktiskt taget uteslutet, att några fel kunna förekomma som störa övriga trafikleder och åstadkomma skada på människor eller egendom. De fordringar och normer, som fastställts för denna interskandinaviska linje, äro ej lindrigare, utan strängare än de utländska normerna, varför ur den synpunkten intet hinder finnes att följa det schweiziska exemplet. Utskottet har emellertid funnit det lämpligt, att i enlighet med hittillsvarande skandinavisk praxis tills vidare räkna med fristående skyddsanordningar, d. v. s. linskydd eller regelskydd för alla korsningar.

B. Normer för 50 kV linjerna.

Åt 50 kV linjerna har icke ägnats något mera ingående utredningsarbete. Den erfarenhet, som i rikt mått föreligger rörande landslinjer för denna spänning, har utan vidare kunnat begagnas. Det har räknats med järnstolpar och hängisolatorer om c:a 1 m längd. Det fria avståndet till mark fastställes till 6 m och avståndet till järn vid maximivind till 0,5 m.

Samtliga till utförande föreslagna 50 kV linjer skola byggas inom Danmark, där man icke har att räkna med de svåra isbarksstormar, som kunna förekomma längre norrut, varför linjerna beräknats konstruerade efter de sakkunniges normer med användande av de mindre värdena på islasten.

C. Kostnaden för kraftledningarna.

Vid de enhetspris, som gällde våren 1922, har kostnaden, räknad i svenska kronor, för en 132 kV-linje i första utbyggnadsstadiet, d. v. s. med 3×120 mm² kopparlina, och vid utförande enligt alternativ a befunnits vara:

Stolpar resta och målade	4165
Fundament	2580
Kopparlinor monterade	5870
Stållinor »	350
Isolatorer med tillbehör monterade	1760
Arbetsledning på platsen	1200
Stakning, röjning, skadeersättningar och skyddsanordningar	3050
Administration, räntor under byggnadstiden samt oförutsett c:a 10 % å förestående exkl. kopparkostnaden	1360
Summa svenska kr.	20335

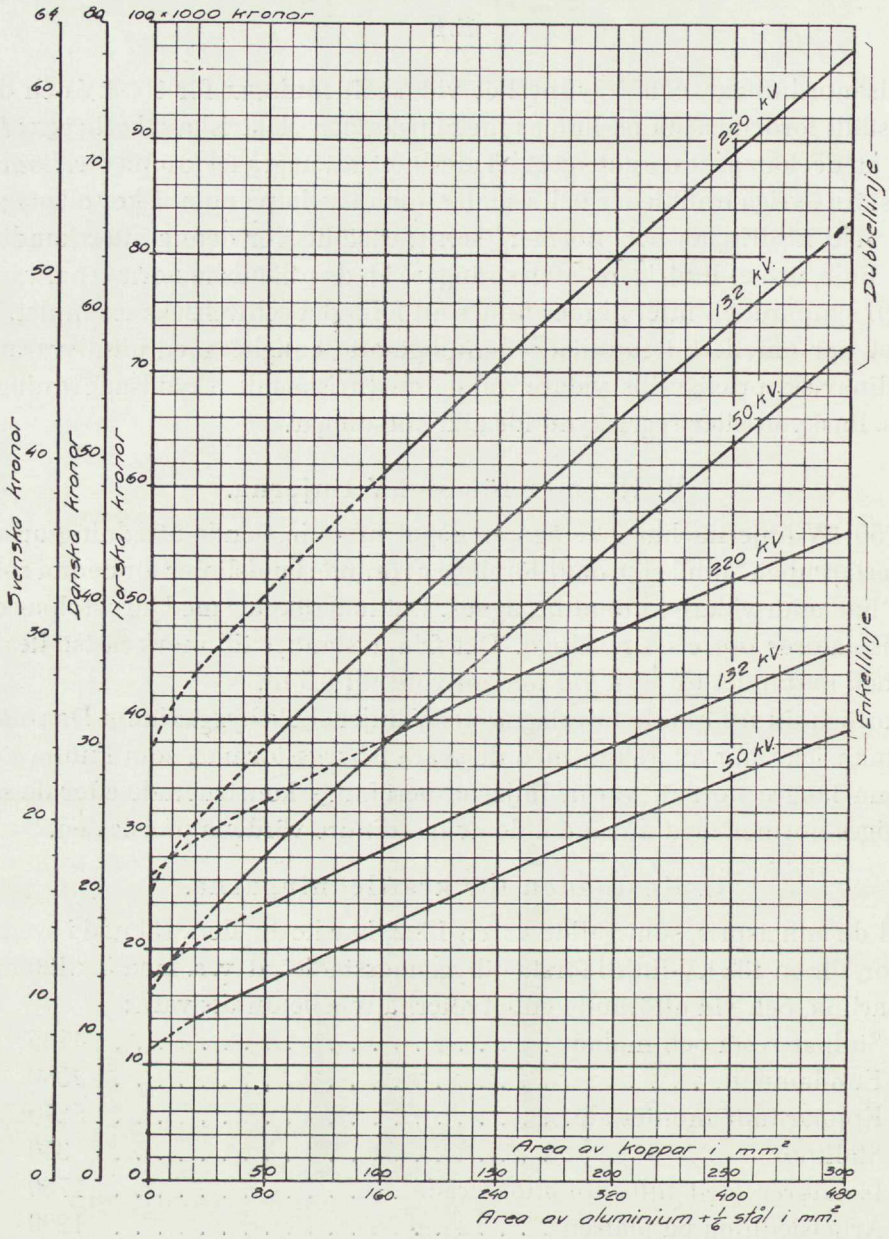


Fig. 10. Kostnader per km kraftledning för 50, 132 och 220 kV enkel- och dubbellinjer. Kurvorna äro uppgjorda för följande kopparpris:
p = 2,50 norska kronor = 2,00 danska kronor = 1,60 svenska kronor per kg.

I detta utbyggnadsstadium blir kostnaden för linje enligt alt. c ungefär lika stor som enligt alt. a. Alt. b (veka stolpar) ger c:a 5 % billigare linje, ifall stolparna utföras tillräckligt höga för 220 kV och med därför lämpade reglar.

Med stöd av utförda kostnadsberäkningar ha följande *generella formler* uppsatts för beräkning av kostnaderna för byggnad av 1 km kraftledning med järnstolpar för 50, 132 och 220 kV.

I dessa formler är

K_s = totalkostnaden pr km ledning i svenska kronor
K_d = » » » » i danska »
K_n = » » » » i norska »

Därvid har antagits att 0,80 svensk krona = 1,00 dansk krona = 1,25 norsk krona.

q = koppararea i mm^2 för en lina. p = kopparpriset i kr. per kg.

1. För vanliga linjer.

För 50 kV enkellinje med hängisolatorer.

$K_s = 7200 + 200\sqrt{q} + 30\,qp$
$K_d = 9000 + 250\sqrt{q} + 30\,qp$
$K_n = 11250 + 312{,}5\sqrt{q} + 30\,qp$

För 50 kV dubbellinje med hängisolatorer.

$K_s = 10400 + 400\sqrt{q} + 60\,qp$
$K_d = 13000 + 500\sqrt{q} + 60\,qp$
$K_n = 16250 + 625\sqrt{q} + 60\,qp$

För 132 kV enkellinje.

$K_s = 11200 + 240\sqrt{q} + 30\,qp$
$K_d = 14000 + 300\sqrt{q} + 30\,qp$
$K_n = 17500 + 375\sqrt{q} + 30\,qp$

För 132 kV dubbellinje.

$K_s = 16000 + 480\sqrt{q} + 60\,qp$
$K_d = 20000 + 600\sqrt{q} + 60\,qp$
$K_n = 25000 + 750\sqrt{q} + 60\,qp$

För 220 kV enkellinje.

$K_s = 16800 + 280\sqrt{q} + 30\,qp$
$K_d = 21000 + 350\sqrt{q} + 30\,qp$
$K_n = 26250 + 437{,}5\sqrt{q} + 30\,qp$

För 220 kV dubbellinje.

$K_s = 24000 + 560\sqrt{q} + 60\,qp$
$K_d = 30000 + 700\sqrt{q} + 60\,qp$
$K_n = 37500 + 875\sqrt{q} + 60\,qp$

Dessa kostnader äro grafiskt framställda å fig. 10, varvid kopparpriset antagits vara 2,50 norska kronor = 2,00 danska = 1,60 svenska.

2. För kraftledningen Nore—Hälsingborg,

som skall byggas med tanke på framtida ombyggnad till 220 kV, beräknas kostnaden enligt nedanstående formler. För första utbyggnaden blir kostnaden något lägre än vad ovan angivits, därför att en mindre sänkning av den mekaniska hållfastheten medgivits. Vid andra och tredje utbyggnaden bliva däremot kostnaderna högre än ovan, därför att den successiva utbyggnaden medför ökade kostnader för arbetsledning m. m.

1:a *utbyggnaden*. En stolppelare med enkelledning för 132 kV.

$$K_s = 10900 + 240\sqrt{q} + 30\,qp$$
$$K_d = 13600 + 300\sqrt{q} + 30\,qp$$
$$K_n = 17000 + 375\sqrt{q} + 30\,qp$$

2:a *utbyggnaden*. Ytterligare en stolppelare med enkelledning för 132 kV.

$$K_s = 8950 + 240\sqrt{q} + 30\,qp$$
$$K_d = 11200 + 300\sqrt{q} + 30\,qp$$
$$K_n = 14000 + 375\sqrt{q} + 30\,qp$$

Summan av 1 och 2 utbyggnaderna blir

$$K_s = 19850 + 480\sqrt{q} + 60\,qp$$
$$K_d = 24800 + 600\sqrt{q} + 60\,qp$$
$$K_n = 31000 + 750\sqrt{q} + 60\,qp$$

3:e *utbyggnaden*. Ytterligare en stolppelare samt ombyggnad till 220 kV dubbellinje.

$$K_s = 10250 + 240\sqrt{q} + 0$$
$$K_d = 12800 + 300\sqrt{q} + 0$$
$$K_n = 16000 + 375\sqrt{q} + 0$$

Summan av 1, 2 och 3 utbyggnaderna blir

$$K_s = 30100 + 720\sqrt{q} + 60\,qp$$
$$K_d = 37600 + 900\sqrt{q} + 60\,qp$$
$$K_n = 47000 + 1125\sqrt{q} + 60\,qp$$

Vid utbyte från en area q_1 till q_2 bli kostnaderna för 3 linor:

$$K_s = 1280 + 30\,q_2\,p \div 24\,q_1p$$
$$K_d = 1600 + 30\,q_2\,p \div 24\,q_1p$$
$$K_n = 2000 + 30\,q_2\,p \div 24\,q_1p$$

I dessa formler skall i andra termen, där $\sqrt[3]{q}$ förekommer, i värdet för q insättes den area, för vilken stolpen dimensioneras.

De angivna formlerna gälla även för stålaluminiumlinjer, om för q insättes den med hänsyn till ledningsförmågan ekvivalenta koppararean. Kostnaden för stålaluminiumlinjen med 400 Al + 90 Fe är således lika med kostnaden för en linje med 250 mm² koppar.

Stockholm, i november 1922.

W. BORGQUIST *STEN VELANDER*

Statens offentliga utredningar 1923

Systematisk förteckning

(Siffrorna inom klammer beteckna utredningarnas nummer i den kronologiska förteckningen.)

Allmän lagstiftning. Rättskipning. Fångvård.

Utredning rör. städernas domstolsväsen. [1923: 6]
Förslag till strafflag, allmänna delen, samt till lag ang. villkorlig frigivning. [1923: 9]
Betänkande och förslag rörande förvaring av förminskat tillräkneliga förbrytare m. m. [1923: 36]
Sammandrag av yttranden över stadsplanelagskommitténs samt bostadskommissionens betänkanden. [1923: 46]

Statsförfattning. Allmän statsförvaltning.

Folkomröstningskommitténs utredningar. 3. Folkomröstningsinstitutet i den schweiziska demokratien. [1923: 10] 4. Folkomröstningsinstitutet i Nordamerikas förenta stater. [1923: 8] 5. Folkomröstningsinstitutet utanför Schweiz och Förenta staterna. [1923: 20]
Folkomröstningskommitténs betänkande ang. decisiv folkomröstning. [1923: 19]
Betänkande och förslag i fråga om kvinnors tillträde till statstjänster. 3. Kvinnas behörighet att innehava prästerlig och annan kyrklig tjänst. [1923: 22]
Betänkande med förslag till lönereglering för befattningshavare i domsagorna m. m. [1923: 27]
Kommunikationsverkens lönekommitté. 5. [1923: 47]

Kommunalförvaltning.

Kommunalförfattningssakkunnigas betänkande. 4. [1923: 18]
Efterskrift till Om röstsammanräkning vid kommunala val. [1923: 38]
Om röstsammanräkning vid kommunala val. Andra upplagan. [1923: 39]

Statens och kommunernas finansväsen.

Magistraternas befriande från ansvar för kronouppbörden m. m. [1923: 1]
Tull- och traktatkommitténs utredningar och betänkanden. 18. Den svenska mekaniska verkstadsindustriens utveckling intill krigsutbrottet. [1923: 31] 19. Sveriges bryggeriindustri. [1923: 32] 20. Garveriindustriens produktionsförhållanden. [1923: 33] 21. Kvalitetsfrågan hos det svenska vetet. [1923: 34] 22. Tabeller ang. industriens utveckling. [1923: 37] 23. De svenska järn- och metallmanufakturindustriernas utveckling. [1923: 44] 24. Undersökning ang. jordegendomsvärdenas utveckling i Sverige och vissa främmande länder. [1923: 45]
Förslag till tullstadga. [1923: 43]

Politi.

Förslag till lag om lösdrivares behandling. [1923: 2]
Betänkande med förslag till förordning ang. tillverkning av brännvin m. m. [1923: 28]

Socialpolitik.

Den industriella demokratiens problem. 1. [1923: 29] 2. [1923: 30]

Hälso- och sjukvård.

Allmänt näringsväsen.

K. Elektrifieringskommitténs meddelanden. 6. [1923: 24]

Fast egendom. Jordbruk med binäringar.

Spannmålsmarknadssakkunnigas betänkande. [1923: 3]
Betänkande ang. det ecklesiastika arrendeväsendet. [1923: 12]
Inventering av odlingsjord längs Inlandsbanan. [1923: 25]
Jordkommissionens betänkande. 6. [1923: 40]
Lagerhus- och kylhuskommitténs betänkande. 2. [1923: 42]
Anvisningar rörande vissa åtgärder för ökad spannmålsbelåning. [1923: 48]

Vattenväsen. Skogsbruk. Bergsbruk.

Industri.

Handel och sjöfart.

Kommunikationsväsen.

Statens ställning till järnvägarna i främmande länder. [1923: 7]
Utredning rörande Strömsholms kanal. [1923: 11]
Vägkommissionens betänkanden. 4. [1923: 13]
Förslag till avtal rör. Stockholms bangårdsfråga. [1923: 14]
Betänkande ang. Stockholms förortsbanefråga. [1923: 21]
Statens ställning till järnvägarna i Sverge. [1923: 49]
Redegørelse angaaende elektrisk Kraftoverføring fra Norge til Danmark. [1923: 50]

Bank-, kredit- och penningväsen.

Försäkringsväsen.

Kyrkoväsen. Undervisningsväsen. Andlig odling i övrigt.

Betänkande med förslag till lag om församlingsstyrelse m. m. [1923: 4]
Skolkommissionens betänkande. 5. Organisatoriska och ekonomiska utredningar. [1923: 5] 6. Om rätt för elever, utexaminerade från statens högre lärarinneseminarium, att vinna inträde vid universitet och där avlägga examen samt om folkskollärares fortbildning i vetenskapligt avseende. [1923: 41]
Förslag till ändringar i jordfästningslagen m. m. [1923: 23]
1921 års pensionskommittés betänkande 2 ang. beredande av förbättrad pensionering från prästerskapets änke- och pupillkassa m. m [1923: 26]
Samorganisation av riksdagsbiblioteket och den centrala statsförvaltningen i bok- och biblioteksavseende. [1923: 35].

Försvarsväsen.

Försvarsrevisionens betänkande. 3. Del 1. Inledande avdelning, lantförsvaret. [1923: 15] Del 2. Sjöförsvaret, sammanfattning av revisionens förslag, särskilda yttranden. [1923: 16] Del 3. Bilagor. [1923:17]

Utrikes ärenden. Internationell rätt.

Stockholm 1923. P. A. Norstedt & Söner. 232546