

NOVEMBER 2023  
NAJADERNA OFFSHORE AB

# **NAJADERNA VINDKRAFTPARK – MAGNETFÄLT FRÅN INTERNKABELNÄT FÖR HAVSBASERAD VINDKRAFT**

RAPPORT



**COWI**



NOVEMBER 2023  
NAJADERNA OFFSHORE AB

# NAJADERNA VINDKRAFTPARK– MAGNETFÄLT FRÅN INTERNKABELNÄT FÖR HAVSBASERAD VINDKRAFT

RAPPORT

|               |                                  |
|---------------|----------------------------------|
| PROJEKTNUMMER | DOKUMENTNUMMER                   |
| A253041       | A253031_REP_002_Najaderna EMF_R3 |

|         |            |                                   |           |             |            |
|---------|------------|-----------------------------------|-----------|-------------|------------|
| VERSION | DATUM      | BESKRIVNING                       | UTFÖRD AV | GRANSKAD AV | GODKÄND AV |
| Rev.3   | 2023.12.11 | Sista upplagan                    | HNFO      | JUGC        | LUWM       |
| Rev.2   | 2023.11.22 | Slutlig version efter kommentarer | MLLT      | JUGC        | LUWM       |
| Rev.1   | 2023.11.15 | Första utgåva                     | MLLT      | JUGC        | LUWM       |



# CONTENTS

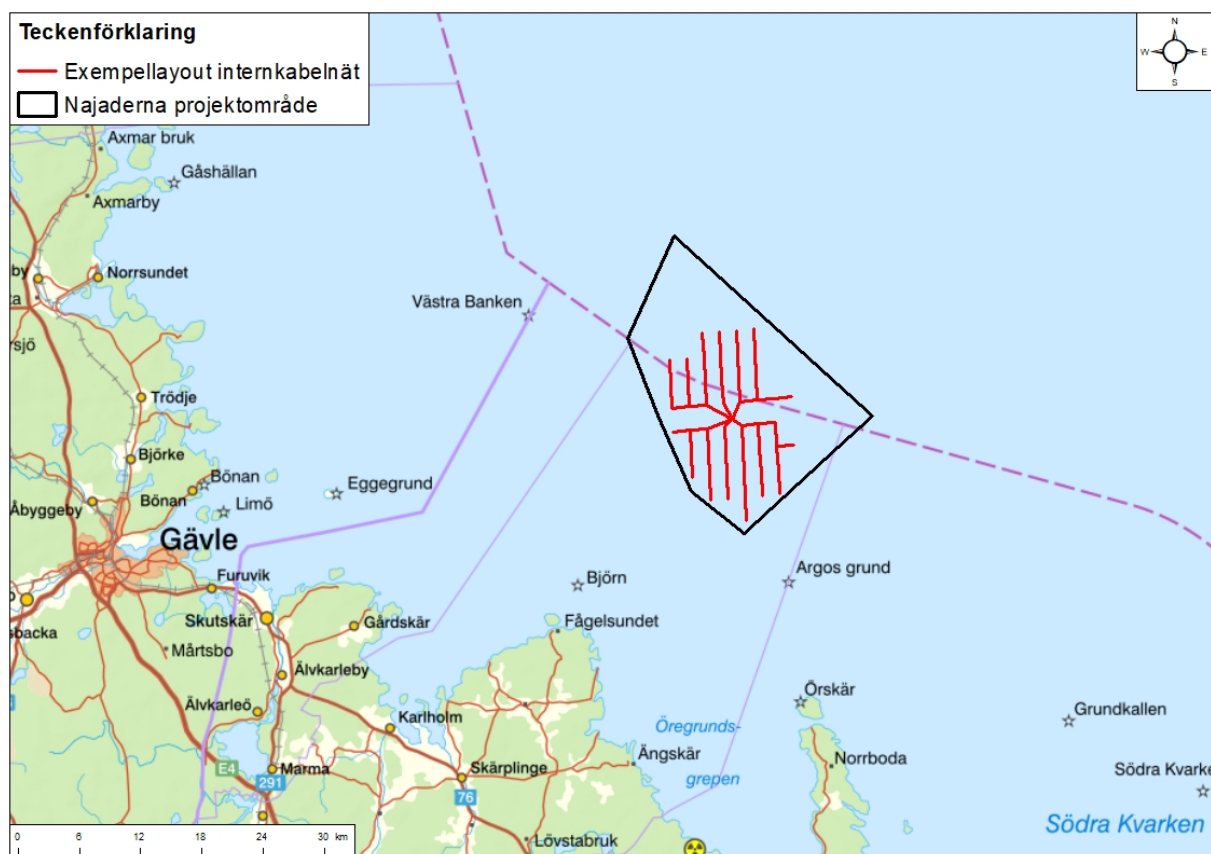
|       |                                                |    |
|-------|------------------------------------------------|----|
| 1     | Introduktion                                   | 7  |
| 2     | Förkortningar, Enheter och Referenser          | 8  |
| 2.1   | Förkortningar                                  | 8  |
| 2.2   | Enheter                                        | 8  |
| 2.3   | Referenser                                     | 8  |
| 2.3.1 | Standarder, regelverk och riktlinjer           | 8  |
| 2.3.2 | Övriga referenser                              | 8  |
| 3     | Underlag för beräkningar                       | 9  |
| 3.1   | Grundläggande EMC-teori                        | 9  |
| 3.2   | Internkabelnätarrangemangen                    | 9  |
| 3.3   | Allmänna förhållanden på plats                 | 10 |
| 3.4   | Vindstatistik och aktuell lastprofil           | 11 |
| 3.4.1 | Najaderna vindstatistik och aktuell lastprofil | 11 |
| 3.5   | Beräknade fall                                 | 13 |
| 4     | Resultat                                       | 14 |
| 4.1.1 | Magnetfält – Fall A1                           | 14 |
| 4.1.2 | Magnetfält – Fall A2                           | 14 |
| 4.1.3 | Magnetfält – Fall B1                           | 15 |
| 4.1.4 | Magnetfält – Fall B2                           | 15 |
| 4.1.5 | Magnetfält – Fall C1a                          | 16 |
| 4.1.6 | Magnetfält – Fall C1b                          | 16 |
| 4.1.7 | Magnetfält – Fall C2a                          | 17 |
| 4.1.8 | Magnetfält – Fall C2b                          | 17 |



# 1 Introduktion

Najaderna Offshore AB (fortsättningsvis Najaderna Offshore), ett dotterbolag till Eolus Vind AB, avser att ansöka om tillstånd enligt bland annat miljöbalken och lagen om Sveriges ekonomiska zon för etablering, drift och avveckling av en havsbaserad vindkraftpark, Najaderna vindkraftpark (fortsättningsvis Najaderna). Den planerade vindkraftparken är belägen i Bottenhavet, delvis inom svenskt territorialvatten i Tierps kommun i Uppsalas län samt delvis i svensk ekonomisk zon (SEZ). Projektområdet för vindkraftparken ligger som närmast ca 14 km nordöst om Björns Skärgård inom Tierps kommun och ca 45 km öster om Gävle och omfattar en yta av ca 350 km<sup>2</sup>. Najaderna kommer maximalt att omfatta 67 vindkraftverk, med en totalhöjd på maximalt 365 m och en installerad effekt om ca 1–1.5 GW. Den producerade elen transporteras från vindturbinerna via internkabelnät och en havsbaserad transformatorstation till en nätanslutningspunkt utsedd av nätägaren. Denna rapport innefattar en beräkning av magnetfält associerade med internkabelnäten av denna havsbaserade vindkraftspark. I beräkningen används information från en konceptstudie, samt typiska/generella antaganden som gjorts för beräkningen. Bedömningen presenteras som magnetiska profiler för varje fall.

Lokaliseringen och utformningen av vindkraftsparken är som visas i Figur 1-1.



Figur 1-1 Exempellayout för vindkraftverk och internkabelnät i Najaderna

## 2 Förkortningar, Enheter och Referenser

### 2.1 Förkortningar

Förkortningar och andra akronymer som förekommer i detta dokument är listade nedan:

| Förkortning | Beskrivning |
|-------------|-------------|
|-------------|-------------|

|       |                                                                                         |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| CIGRE | Conseil International des Grands Réseaux Electriques, Council on Large Electric Systems |
| EMC   | Elektromagnetisk kompatibilitet                                                         |
| SI    | Internationella måttenhetssystemet                                                      |
| VKV   | Vindkraftverk                                                                           |

### 2.2 Enheter

Internationella måttenhetssystemet (SI) appliceras i detta dokument.

### 2.3 Referenser

#### 2.3.1 Standarder, regelverk och riktlinjer

Följande standarder, regelverk och riktlinjer används i detta dokument:

|                    |                                                                                                                 |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CIGRE WG B1.23     | Impact of EMF on current ratings and cable systems, December 2013.                                              |
| CIGRE WG C4.204    | Mitigation techniques of power-frequency magnetic fields originated from electric power systems, February 2009. |
| CIGRE JTF 36.01/21 | Magnetic field in HV cable systems, without ferromagnetic component, June 1996.                                 |

#### 2.3.2 Övriga referenser

Följande referenser används i detta dokument:

Ref. /1/ Vattenfall, Impact of electric and magnetic fields from submarine cables on marine organisms - the current state of knowledge, Authors: Thomas Olsson, Peter Bergsten, Johan Nissen, Anette Larsson, V2, November 2010

Ref. /2/ S. Y. King, N. A. Halfter, Underground power cables, Longman, 1982

### 3 Underlag för beräkningar

Det här kapitlet avses presentera underlag av beräkning av magnetfälten associerade med internkabelnäten i Najaderna vindkraftpark.

#### 3.1 Grundläggande EMC-teori

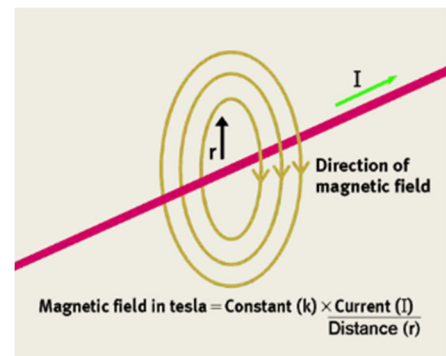
Magnetfältet runt varje ledare som leder ström är resultatet av strömmen och avståndet enligt Biot-Savarts lag (1820). Sjökabeln har tre fasströmmar samt skärmström vardera förskjutna 120 grader.

$$B := \frac{\mu_0 I}{4 \pi \cdot r^2}$$

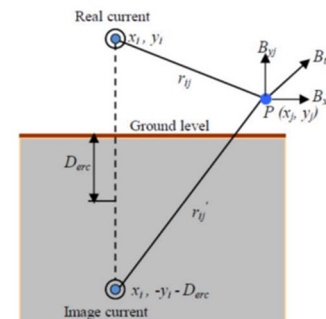
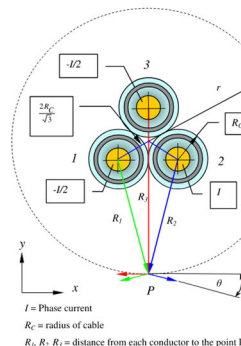
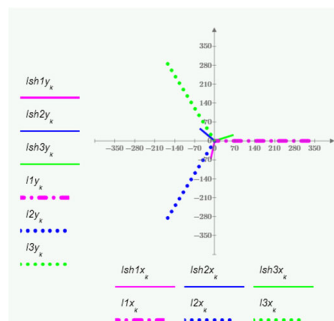
$\mu_0$  : permeabilitet i tomt utrymme,  $4\pi \times 10^{-7}$  [H/m]

$I$  : Ström [A]

$r$ : avstånd [m]



Det resulterande magnetfältet är summan av de vektoriella bidragen från vardera ledare samt skärm. Beräkningsmetoden är visualiserad i Figur 3-1 nedan.



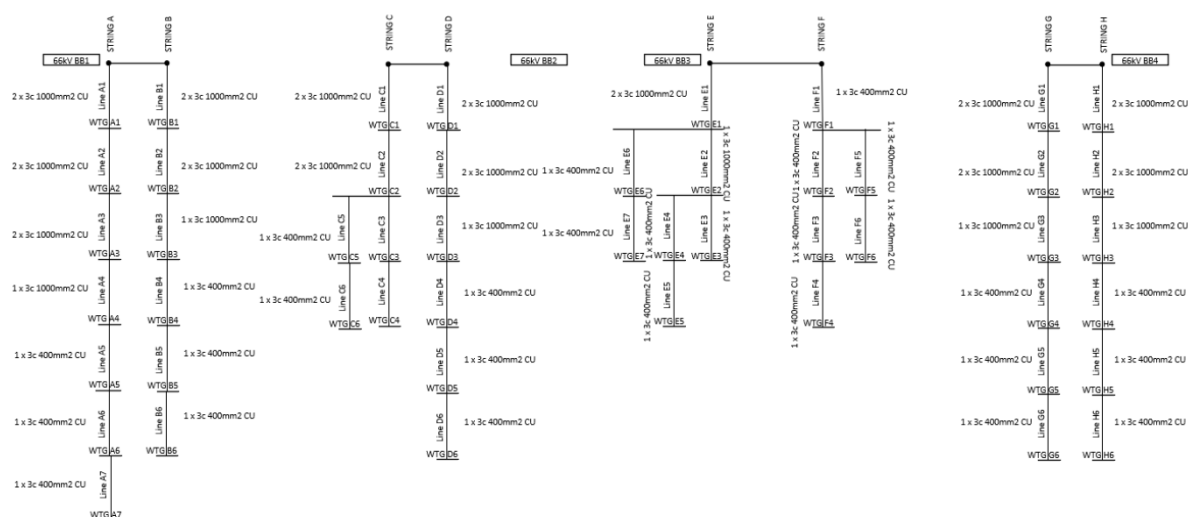
Magnetic field generated by a real current and its image in an observation point

Figur 3-1 Beräkningsmetod - magnetfält

#### 3.2 Internkabelnätarrangemangen

I detta avsnitt definieras internkabelnätarrangemangen för varje vindkraftpark. Eftersom inget specifikt internkabelnätarrangemang ännu har beslutats, används ett exempel på kabelarrangemang för värsta tänkbara fall för beräkningsändamål.

Det föreslagna internkabelnätssystemet, som visas i Figur 1-1, och 3-2 är uppdelat i tolv (12) strängar med antingen åtta (8), sju (7) eller sex (6) VKV vardera, beroende på den aktuella anläggningen. Anslutningarna mellan VKV är baserade på sjökablar av koppar med två olika tvärsnitt (400 mm<sup>2</sup> och 1000 mm<sup>2</sup>), medan två (2) parallella kablar används för de anslutningar som leder högre ström. Kabelarrangemanget mellan grupperna kan vara det som visas i Figur 3-2, endast som indikation för tvärsnittsöversvägandet:



Figur 3-2 Najaderna internkabelnät antagande

Beräkningen har utförts för ett så kallat värsta fall för kabelförband med avseende på belastningsströmmar:

- > A: 1 || 3 ledare 400 mm² Cu och belastning från 3 VKV
- > B: 1 || 3 ledare 1000 mm² Cu och belastning från 4 VKV
- > C: 2 || 3 ledare 1000 mm² Cu och belastning från 7 VKV

Eftersom EMC-effekten är relaterad till strömmen, kommer en annan dragning av internkabelnätssystemet eller dess förlängning upp till projektgränserna inte att påverka resultaten av studien.

### 3.3 Allmänna förhållanden på plats

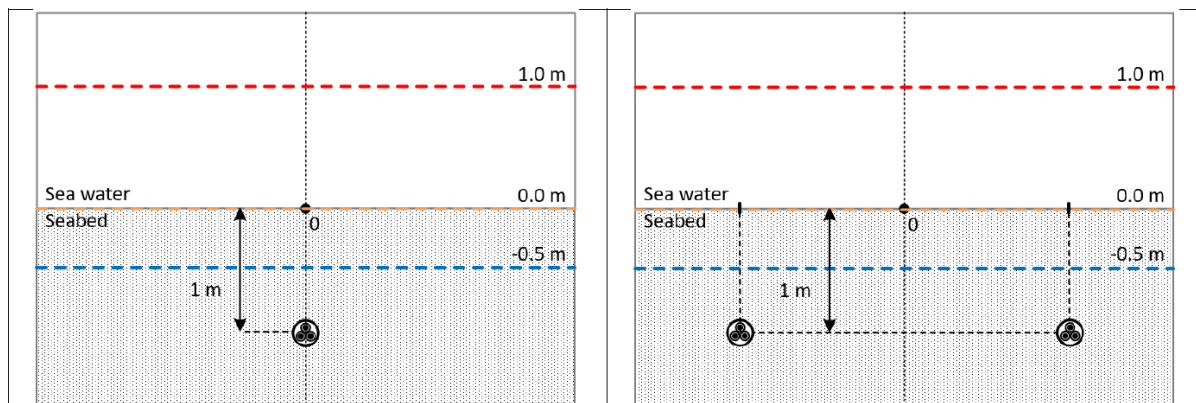
Huvudsakliga faktorer och antaganden för beräkningen är summerade i Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Huvudsakliga faktorer och antaganden för beräkningen

| Najaderna - Huvudsakliga faktorer och antaganden för beräkningen      |                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Nominell spänning                                                     | 66 kV                                                                              |
| Frekvens                                                              | 50 Hz                                                                              |
| VKV märkeffekt                                                        | 20 MW                                                                              |
| VKV effektfaktor                                                      | 0,975 -                                                                            |
| Kabeltyp                                                              | Sjökablar, 3 ledare                                                                |
| Kablar                                                                | 1    3 ledare 400 mm² Cu<br>1    3 ledare 1000 mm² Cu<br>2    3 ledare 1000 mm² Cu |
| Avstånd mellan kablar (center / center vid anslutning med två kablar) | 5; 10 m                                                                            |
| Kabelskärm                                                            | Förbunden i båda ändar                                                             |
| Nivåer för magnetfältsmätningar                                       | -0,5 ; 0,0 ; 1,0 m                                                                 |

där 0 är havsbottenivå

Parametrar och faktorer som inte tillhandahålls av kunden ersätts med typiska/generiska antaganden.



Figur 3-3 Illustration av sjökabelförläggning samt nivåer för magnetfältsberäkning-EMC (ej skalenligt)

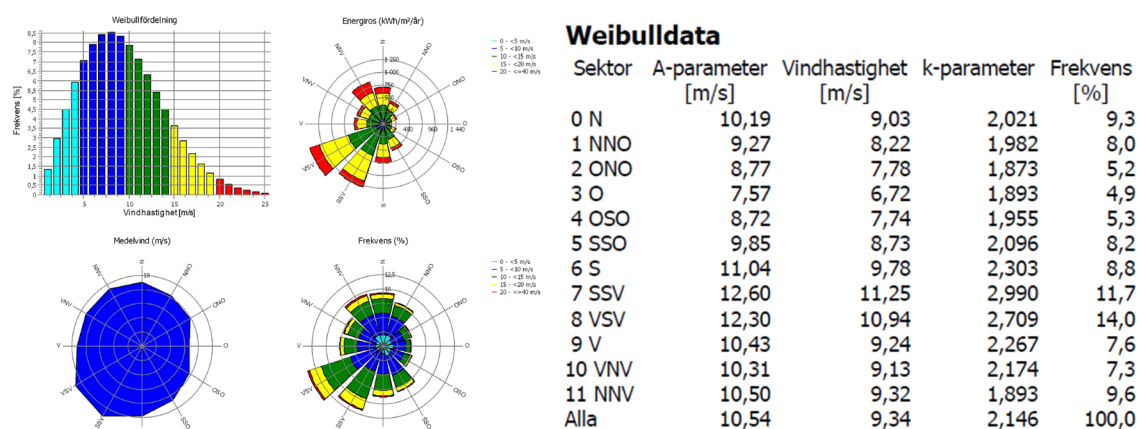
## 3.4 Vindstatistik och aktuell lastprofil

För att bestämma vilken belastningsström som ska användas i beräkningarna måste vindstatistiken för platsen undersökas.

Det värsta fallet är med märkeffekten (maximal ström) och sedan studeras det mest typiska fallet (12.3 MW med VKV) som ett resultat av vindstatistiken.

### 3.4.1 Najaderna vindstatistik och aktuell lastprofil

Detaljer som beskriver vindstatistiken för Najaderna anges i Figur 3-4.



Figur 3-4 Najaderna vindstatistik

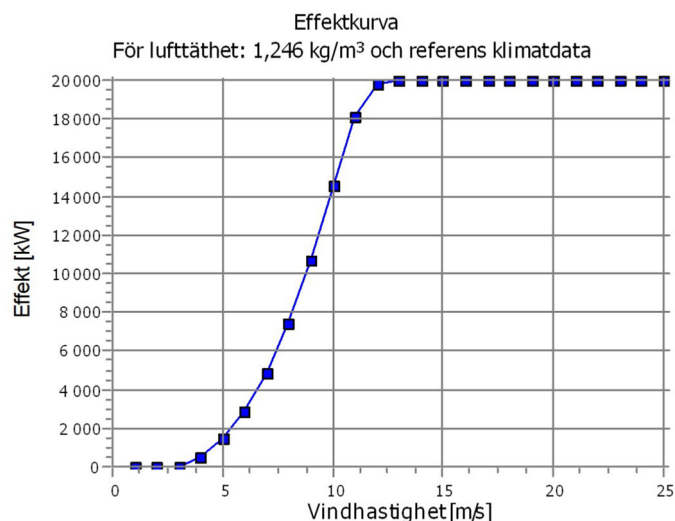
Som framgår av Tabellen ovan är de viktade genomsnittliga Weibull-parametrarna:

$$A = 10.54 \text{ [m/s]}$$

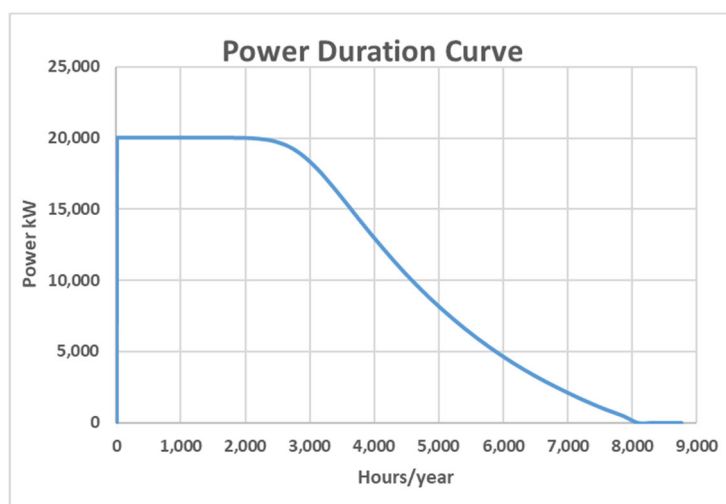
$$k = 2.146 \text{ [m/s]}$$

$$V_{\text{vind}} = 9.34 \text{ [m/s]}$$

Denna Weibull-fördelning används sedan med den effektkurva som tillhandahålls av kunden för att bestämma varaktighetskurvan, som visas i Figur 3-6.



Figur 3-5 Najaderna effektkurva



Figur 3-6 Najaderna varaktighetskurva

Beräkningen har utförts med två elektriska laster:

- > VKV maximala last, d.v.s. 20 MW som värsta scenario.
  - > Medellast på 12,3 MW, vilket ungefär motsvarar 50 % av timmarna (4380 timmar/år jämfört med totalt 8760 timmar/år) i vindkraftverkets varaktighetskurva enligt Figur 3-6.
- Varaktighetskurvan baseras på VKV:s effektkurva och Weibull-parametrar i Figur 3-5.

Från effektvaraktighetskurvan är dessa elektriska belastningar per VKV i Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Elektriska belastningar per VKV

| Per WTG    | Maximal last VKV | Medellast VKV |
|------------|------------------|---------------|
| Kraft [MW] | 20               | 12,3          |
| Ström [A]  | 179              | 110,4         |

Strömmarna beräknas i enlighet med deras placering i sin givna radial:

Tabel 3-3 Strömmar i internkabelnäten

| Fall | VKV | Maximal last Ström [A] | Medellast Ström [A] |
|------|-----|------------------------|---------------------|
| A    | 3   | 537                    | 333,1               |
| B    | 4   | 716                    | 441,6               |
| C    | 7   | 1253                   | 772,8               |

### 3.5 Beräknade fall

Resultatet presenteras per beräknat fall enligt Tabel 3-4. Magnetfälten har beräknats vid nivåerna 0,5 m under havsbotten, på havsbotten och 1 m över havsbotten.

Tabel 3-4 Beräknade fall Najaderna

| Fall | VKV | Last [MW] | Ström [A]              | Kabel                                 | Avstånd mellan kablar [m] |
|------|-----|-----------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| A1   | 3   | 20        | 537                    | 1    3 ledare 400 mm <sup>2</sup> Cu  | N/A                       |
| A2   | 3   | 12,3      | 333,1                  | 1    3 ledare 400 mm <sup>2</sup> Cu  | N/A                       |
| B1   | 4   | 20        | 716                    | 1    3 ledare 1000 mm <sup>2</sup> Cu | N/A                       |
| B2   | 4   | 12,3      | 441,6                  | 1    3 ledare 1000 mm <sup>2</sup> Cu | N/A                       |
| C1a  | 7   | 20        | 1253/2 <sup>(1)</sup>  | 2    3 ledare 1000 mm <sup>2</sup> Cu | 5                         |
| C1b  | 7   | 20        | 1253/2 <sup>(1)</sup>  | 2    3 ledare 1000 mm <sup>2</sup> Cu | 10                        |
| C2a  | 7   | 12,3      | 772,8/2 <sup>(1)</sup> | 2    3 ledare 1000 mm <sup>2</sup> Cu | 5                         |
| C2b  | 7   | 12,3      | 772,8/2 <sup>(1)</sup> | 2    3 ledare 1000 mm <sup>2</sup> Cu | 10                        |

Anmärkning:

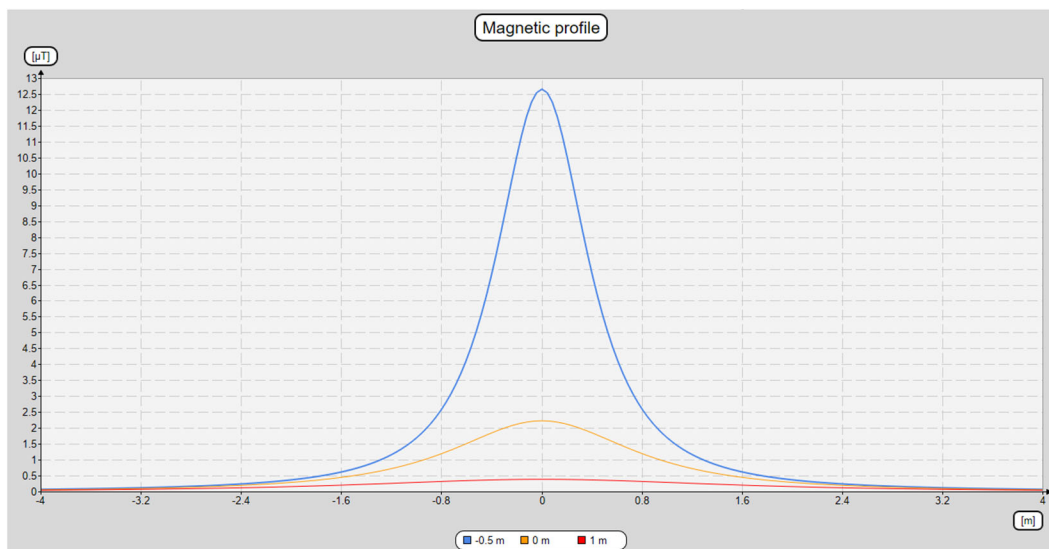
1. I fall C, har 2 parallella kablar använts, därför är strömmen uppdelad på de två kablarna.

## 4 Resultat

I detta avsnitt presenteras resultaten för de två fall som nämns i 3.4.1, det värsta som motsvarar den nominella effekten för VKV (20 MW) och det mest typiska som motsvarar genomsnittet enligt vindstatistiken (12,3 MW) varje fall, med en magnetisk profilkurva.

### 4.1.1 Magnetfält – Fall A1

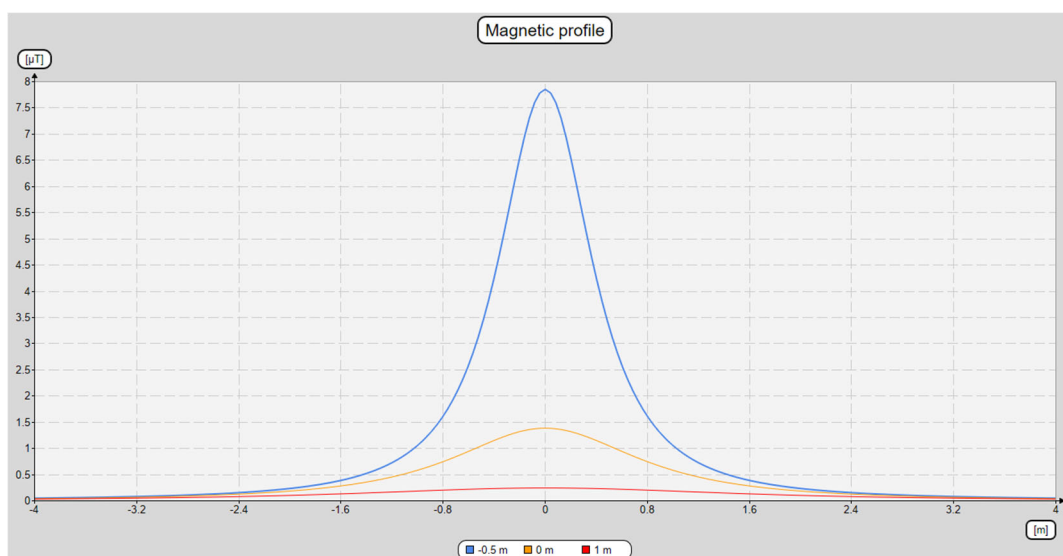
Magnetfält A1 i Tabel 3-4, dvs. kabel 1 || 3 ledare 400 mm<sup>2</sup> Cu och last från 3 VKV vid maximal last på 20 MW per VKV har antagits, visas i Figur 4-1.



Figur 4-1 Magnetfält – Fall A1

### 4.1.2 Magnetfält – Fall A2

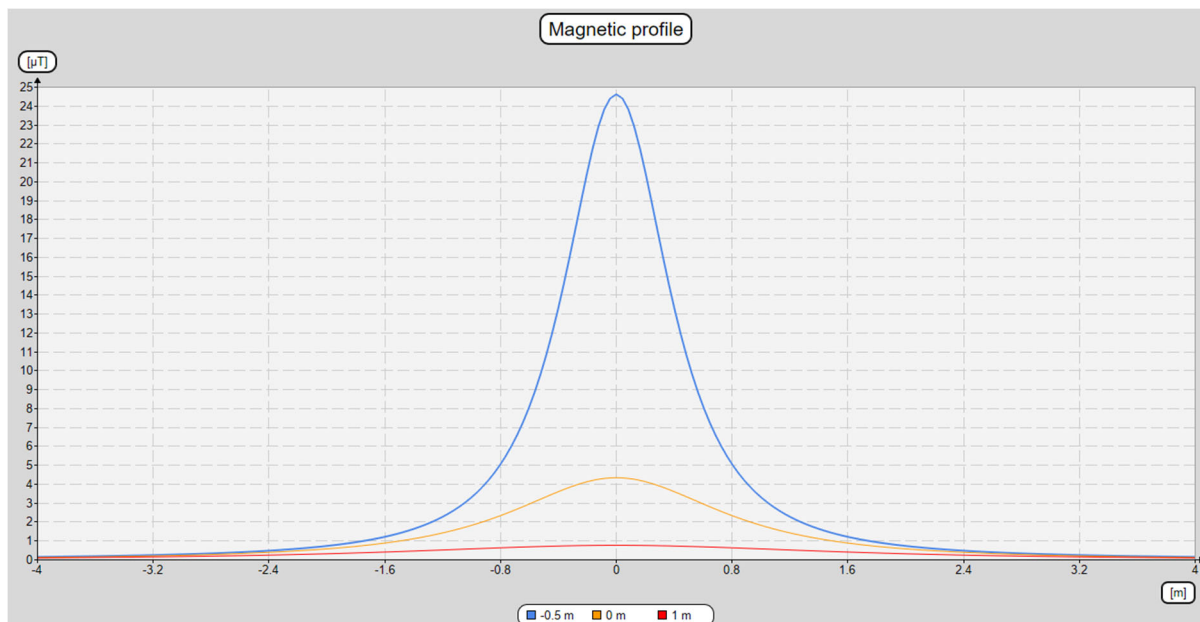
Magnetfält A2 i Tabel 3-4, dvs. kabel 1 || 3 ledare 400 mm<sup>2</sup> Cu och last från 3 VKV vid last på 12,3 MW per VKV har antagits, visas i Figur 4-2.



Figur 4-2 Magnetfält – Fall A2

### 4.1.3 Magnetfält – Fall B1

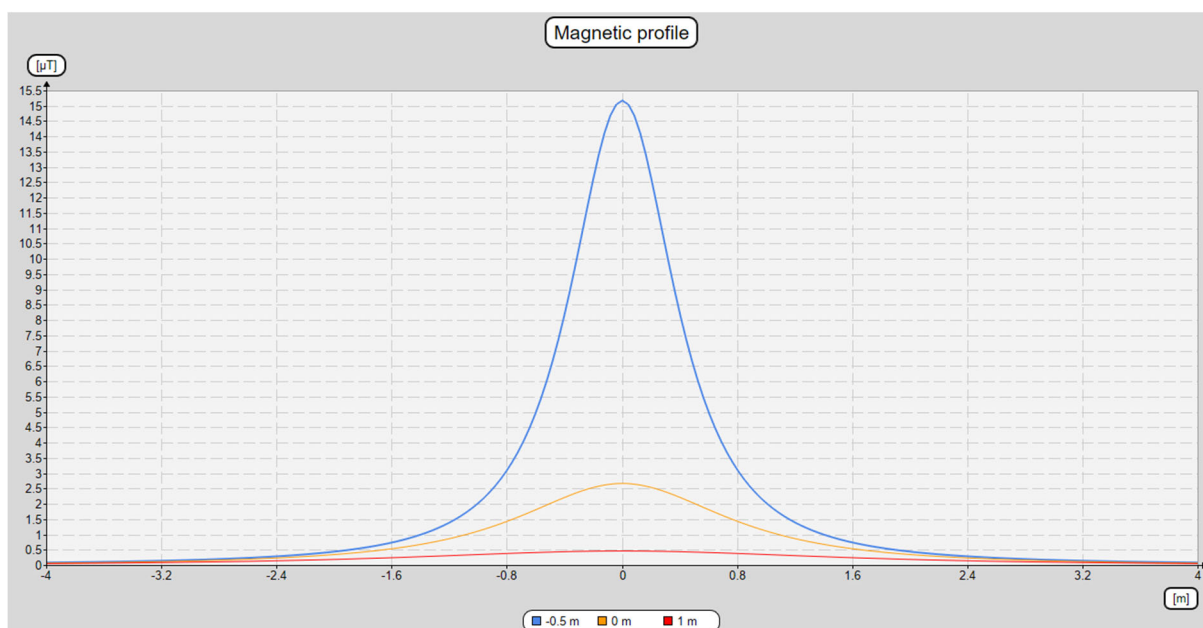
Magnetfält B1 i Tabel 3-4, dvs. kabel 1 || 3 ledare 1000 mm<sup>2</sup> Cu och last från 4 VKV vid last på 20 MW per VKV har antagits, visas i Figur 4-3.



Figur 4-3 Magnetfält – Fall B1

### 4.1.4 Magnetfält – Fall B2

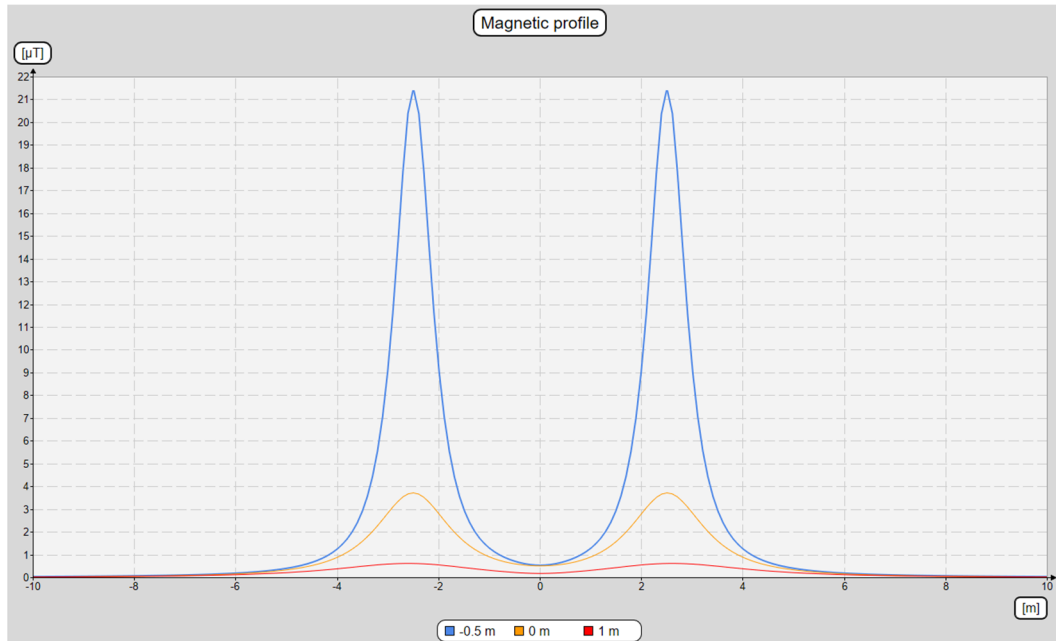
Magnetfält B2 i Tabel 3-4, dvs. kabel 1 || 3 ledare 1000 mm<sup>2</sup> Cu och last från 4 VKV vid last på 12,3 MW per VKV har antagits, visas i Figur 4-4.



Figur 4-4 Magnetfält – Fall B2

#### 4.1.5 Magnetfält – Fall C1a

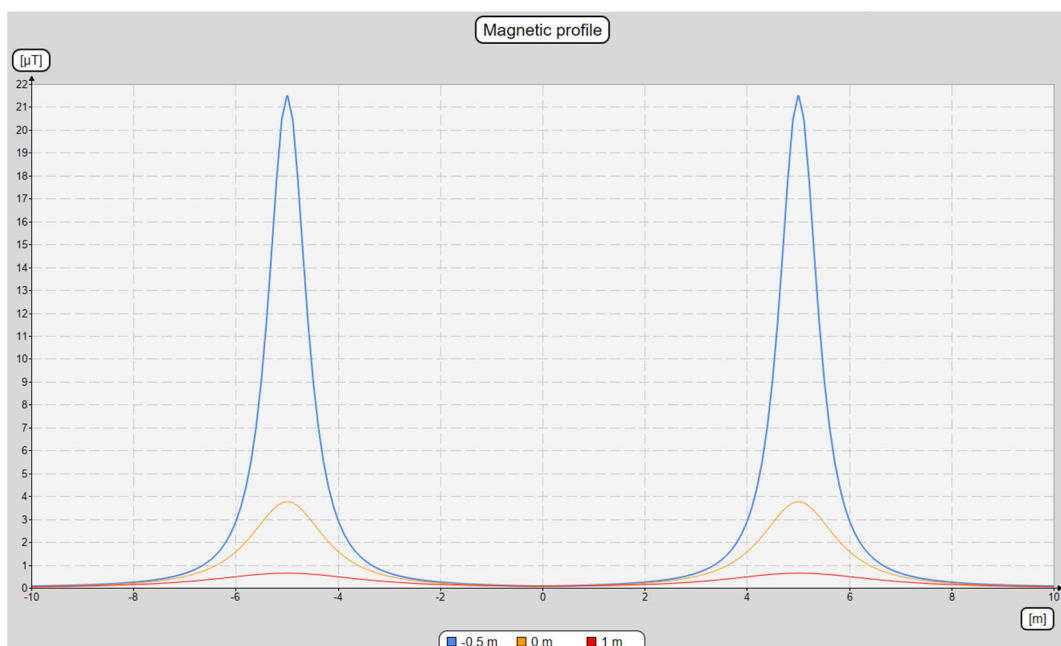
Magnetfält C1a i Tabel 3-4 dvs. kabel 2 || 3 ledare 1000 mm<sup>2</sup> Cu och last från 7 VKV vid maximal last på 20 MW per VKV har antagits, och 5 meters avstånd (center till center) mellan kablarna har applicerats, visas i Figur 4-5.



Figur 4-5 Magnetfält – Fall C1a

#### 4.1.6 Magnetfält – Fall C1b

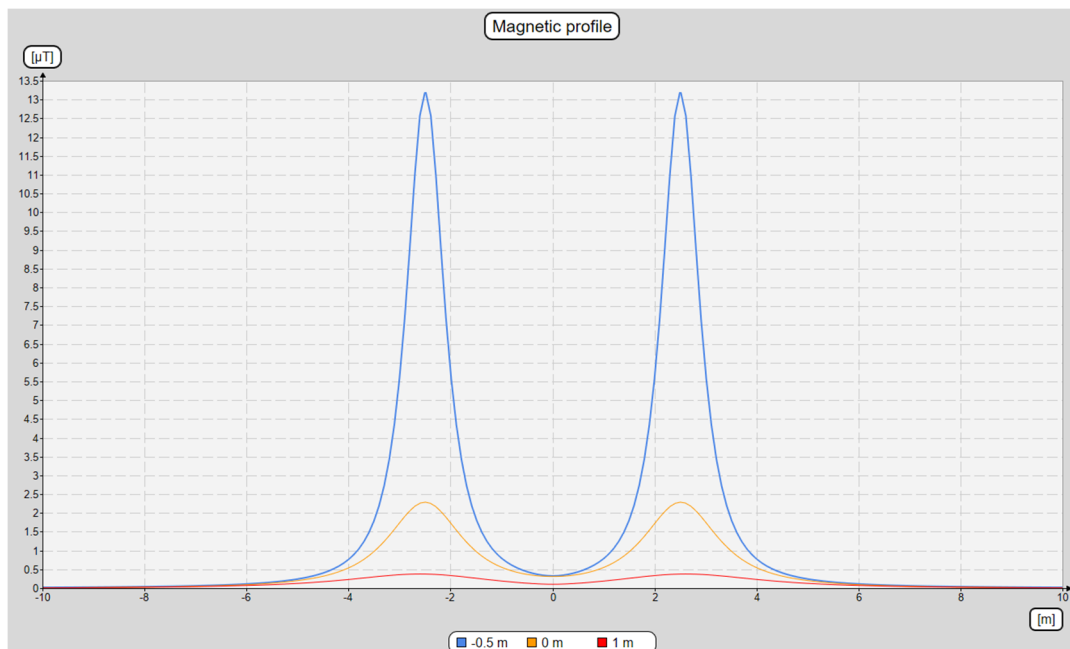
Magnetfält C1b i Tabel 3-4, dvs. kabel 2 || 3 ledare 1000 mm<sup>2</sup> Cu och last från 7 VKV vid maximal last på 20 MW per VKV har antagits, och 10 meters avstånd (center till center) mellan kablarna har applicerats, visas i Figur 4-6.



Figur 4-6 Magnetfält – Fall C1b

#### 4.1.7 Magnetfält – Fall C2a

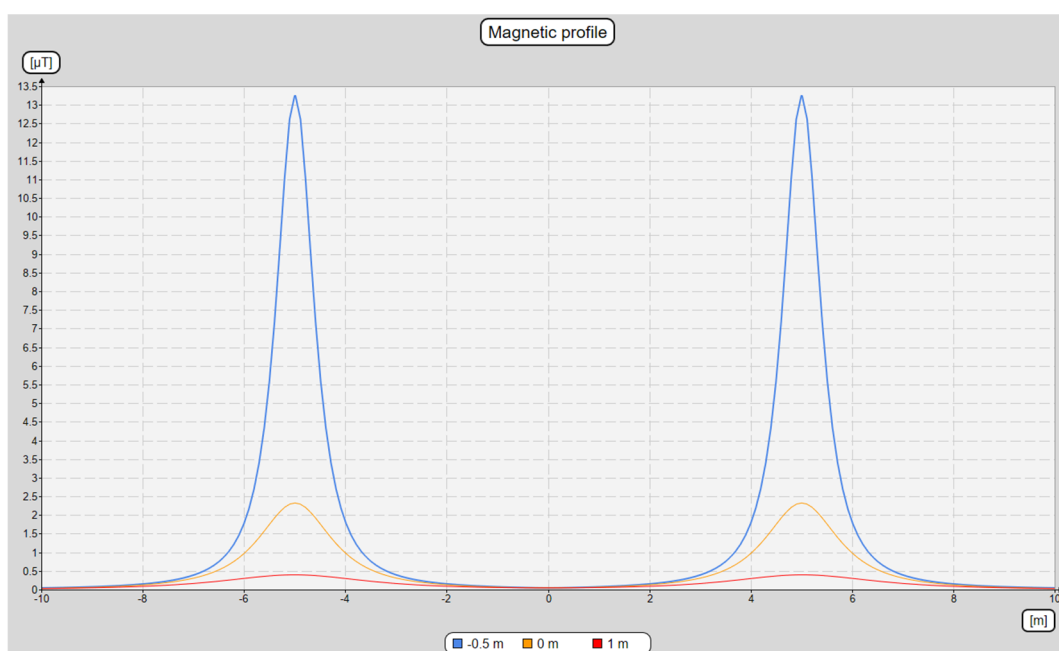
Magnetfält C2a i Tabel 3-4, dvs. kabel 2 || 3 ledare 1000 mm<sup>2</sup> Cu och last från 7 VKV vid maximal last på 12,3 MW per VKV har antagits, och 5 meters avstånd (center till center) mellan kablarna har applicerats, visas i Figur 4-7.



Figur 4-7 Magnetfält – Fall C2a

#### 4.1.8 Magnetfält – Fall C2b

Magnetfält C2b i Tabel 3-4, dvs. kabel 2 || 3 ledare 1000 mm<sup>2</sup> Cu och last från 7 VKV vid maximal last på 13 MW per VKV har antagits, och 10 meters avstånd (center till center) mellan kablarna har applicerats, visas i Figur 4-8.



Figur 4-8 Magnetfält – Fall C2b