

PILOTPROJEKT VINDKRAFT FÖRBÄTTRAD FUNDAMENTSDESIGN



2009-12-10

SLUTRAPPORT — Arise 2009-1202-SR



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Bakgrund
2. Upphandling av mark & anläggningsarbeten
3. Genomförande
4. Tekniska problem
5. Tekniska lösningar
6. Erfarenhet, slutsatser och förbättringspotential

Bilagor:

- | | |
|---|--|
| A | Ritning äldre fundaments design Oxhult |
| B | Ritning ny förbättrad fundaments design Oxhult |
| C | Detalj inspänning insert ring Oxhult |
| D | Detalj adapterlösning Brunsmo |



1. Bakgrund

Arise Windpower AB (Arise) uppförde under vintern 2008/2009 12 st Vestas V 90 vindkraftverk i den sk. Oxhult parken, Laholm kommun. Vart vindkraftverk har en avgiven effekt om 2 MW samt en tornhöjd om 105 meter. Verken monterades på ett gravitationsfundament, som utformas för att klara dimensionerande laster under verkets nominella livslängd om 20 år.

Arise strategi är att äga och driva verken under dess teknisk/ekonomiska livslängd och om möjligt byta ut detsamma efter det att det tjänat ut. De arrendeavtal som tecknats med markägaren är långa, i vissa fall 49 år, och möjliggör ett dylikt utbyte. Infrastruktur i form av vägar och elnät, fundament och torn kan med fördel återanvändas medan rörliga delar såsom maskinhus och rotor byts ut.

Att öka livslängden på ett fundament från 20 års livslängd till 50 år kan dessutom göras till en marginell merkostnad.

Denna rapport avser att beskriva det förbättringsarbete som utfördes på gravitationsfundamenten i Oxhult parken för att undvika framtida driftstörningar som följd av otillräcklig fundaments kvalitet.

En utförlig rapport rörande vindkraft investeringen i Oxhult återfinns i Slutrapport – Arise 2009 – 1201 – SR.

2. Upphandling av mark & anläggningsarbeten

Mark & anläggningsarbeten upphandlades enligt ABT 04 innebärande att entreprenören (PEAB) svarade för genomförande av de mark & anläggningsarbeten som erfordrades för tänkt ny vindkraftpark.

PEAB ansvarade också för designen av fundament, vägar och kranplatser.

3. Genomförande

Efter geoteknisk undersökning samt projektering av tänkta fundament startades byggnation av desamma i augusti 2008. Målet var att det första vindkraftverket skulle monteras den 28:e november 2008 och att hela parken skulle driftsättas och övertas i februari efterföljande år.

Fundamentsarbetet följde följande arbetsmetod:

- (i) Jord schaktades bort ned till ca 2 meters djup och eventuellt berg och stenar avlägsnades
- (ii) För att erhålla en plan yta för formning och armering göts först 10 cm arbetsbetong
- (iii) Formen kring fundamentet sattes. Här provades både Lecablock vilken murades upp för hand, samt en form av prefab element, en s.k. PEKA form, gjord av armeringsjärn med ett ytterskikt av plast. Lecablocken visade sig dock vara att föredra.

- (iv) Underkantsarmering och kantarmering apterades varefter insert ringen, d.v.s. den ring på vilket vindkraftverket placeras, ställdes upp på grovbetongen. Insert ringen justerades så att flänsen där tornet skulle bultas fast var horisontal.
- (v) Överkantarmering monterades
- (vi) Betonggjutning (ca 340 m³, 12 timmars arbetstid)
- (vii) Härdning tills dess att betongen uppnått minst 75 % av fordrad hållfasthet (ca 14 dagar)

Se vidare efterföljande bilder samt konstruktionsritning [bilaga A](#).



Bild 1: Förberedelse för bortsprängning av berg



Bild 2: Färdig grovbetong



Bild 3: Uppbyggnad av form med Leka sten

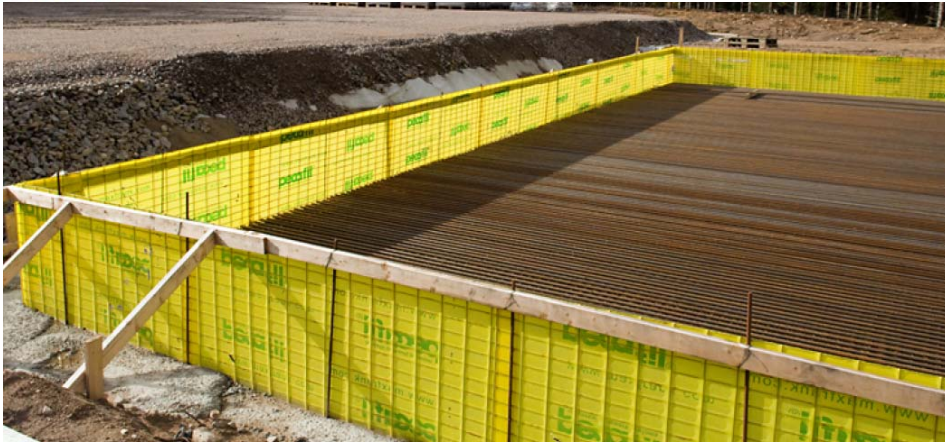


Bild 4: Formbyggnad av prefab element, sk Peka form



Bild 5: Underkantsarmering på plats



Bild 6: Prefab form sedd från ovan.



Bild 7: Kantarmering klar



Bild 8: Insert ring monterad



Bild 9: Armering för förankring av insert ringen i betongfundamentet monteras



Bild 10: Överkantsarmering växer fram



Bild 11: Överarmering klar

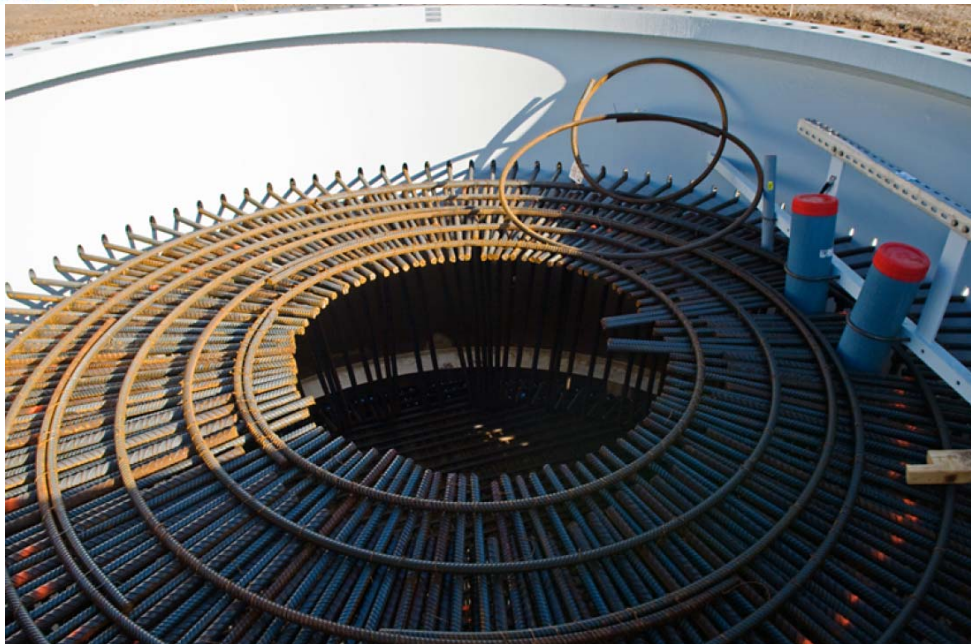


Bild 12: Tät armering inom Insert ringen



Bild 13: Gjutning fundament av ursprungsdesign.

4. Tekniska problem

Efter gjutning av det första fundamentet uppstod tvivel huruvida fundamenten skulle klara dimensionerande brottlaster och utmattningslasterna. Som framgår av bild 8, 9 och 10 överförs lasterna från vindkraftverkets stältorn till fundamentet via en ingjuten Insert ring. De problem som identifierades med ursprunglig design var följande:

- (i) Skjuvarmering saknades i fundamentet
- (ii) Upphångningsarmeringen för Insert ringen var underdimensionerad och felaktigt utformad
- (iii) Infästningen av insert ringen bestod av ett antal (100 st ca) armeringsjärn instuckna i hål i insert ringen vilket inte var tillfredsställande. Armeringsjärnen var också så tätt monterade att vidhäftningen mellan betong och armering inte kan garanteras (se vidare bild 12).

Dessutom uppstod det ett stort antal (100- tals) tämligen grova sprickor i fundamentets över- yta under hårdningsförloppet. Risker är här att vatten tränger ned i fundamentet med följd att armeringen rostar och försvagas.

Arise beslutade sig här för att stoppa fortsatt byggnation samt tillsätta en grupp externa experter för att analysera konstruktionens brister samt utreda möjlighet till förbättringar av densamma. Efter omfattande arbete och analys samt ca 7 veckor stillestånd var slutligen en teknisk lösning på plats.

5. Teknisk lösning

Teknisk lösning är enligt följande:

- (i) Fundamentet förses med skjuvarmering
- (ii) Böjarmering i både överkant och underkant fördelades på två lager för att möjliggöra en god betonggjutning och ge plats för montage av skjuvbyglar.
- (iii) Totalt ökades armeringsvolymen till 58 ton
- (iv) Volymen betong ökades från ursprungliga 340 m³ till ca 530 m³
- (v) Insert ringen hängdes upp till fundamentets överkant med 136 st 36- mm spännstag med längden 2,2 m. Stagen förankrades under underkantsarmeringen i en 100 mm tjock stålring. Stagen förspändes till ca 800 kN. På så sätt elimineras risken för utmattning av upphångningsarmeringen och förhindrades sprickbildning inuti fundamentet på grund av upphångningsarmeringens töjning, som iakttagits vid fundament med inspänd upphångningsarmering.
- (vi) Efterbearbetning av fundamentets överyta efter slutförd gjutning förbättrades

Se vidare efterföljande bilder samt konstruktionsritning [bilaga B](#).

Under arbetet med en förbättrad design framkom diverse lösningar som förkastades. Exempel på sådana lösningar är:

- Ökning av fundamentets tjocklek under Insert ringen
- Upphångningsarmeringen utformad som "hårnålar" under Insert ringens fot istället för som initialt "byglar"
- Skjuv armering föreslogs

Ovanstående förbättringsförslag var visserligen till fördel för kvalitet och hållfasthet men bedömdes ändå otillräckliga. Huvudproblemet var att erforderlig upphångningsarmering och radiell armering, genom Insert ringen blev för tät med hänsyn till betonggjutning och armeringens förankring, vilket klart framgår av bild 12 (trots att armeringen på bilden är underdimensionerad). Bockad upphångningsarmering har dessutom låg utmattningshållfasthet.

Genom att utforma upphångningsarmeringen som raka spännstag vanns flera fördelar. Armeringsarean minskade betydligt och risken för utmattningsbrott i upphångningsarmeringen eliminerades. Den kraftiga förankringsplåten i underkant förhindrar genomstansningsbrott i betongen under Insert ringen.

Kostnaden för fundamenten ökade, med ovan beskriven lösning, från initiala 1,4 MSEK/fundament till ca 3,2 MSEK/fundament. En stor del av denna merkostnad var dock hänförlig till stillestånds och forceringskostnader samt kostnader p.g.a. kall väderlek. Se vidare utformning ny fundament design bild 14 till 25 nedan.



Bild 14: Grop för ingjutning av stålplatta (se bild 15) är förberedd



Bild 15: Bottenförankring (stålplatta) av spännstag



Bild 16: Bottenförankring levereras i fyra delar



Bild 17: Och bultades ihop på plats till en enhet och varje stag lindas med Densotejp innan gjutning

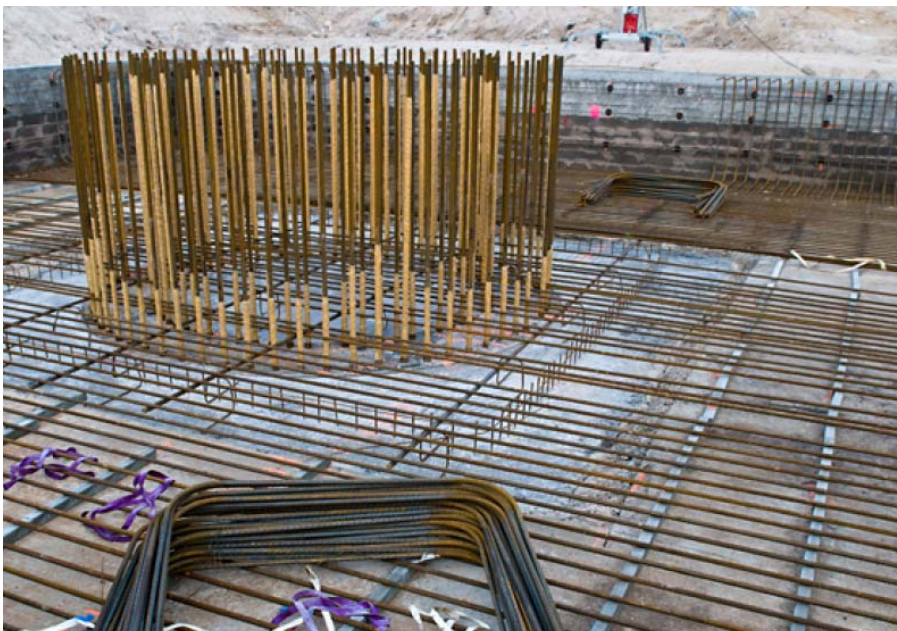


Bild 18: Bottenförankring är ingjuten i 40 cm betong. Underkantsarmering påbörjad.



Bild 19: Överkantsarmering och skjuvarmering monteras



Bild 20: Armering färdigställs



Bild 21: Överkantsarmering och skjuvarmering inom Insert ringen (jämför bild 12)



Bild 22: Spännstag och montagemall på utsida Insert ring före gjutning



Bild 23: Gjutning



Bild 24: Stag apterade och förspända.



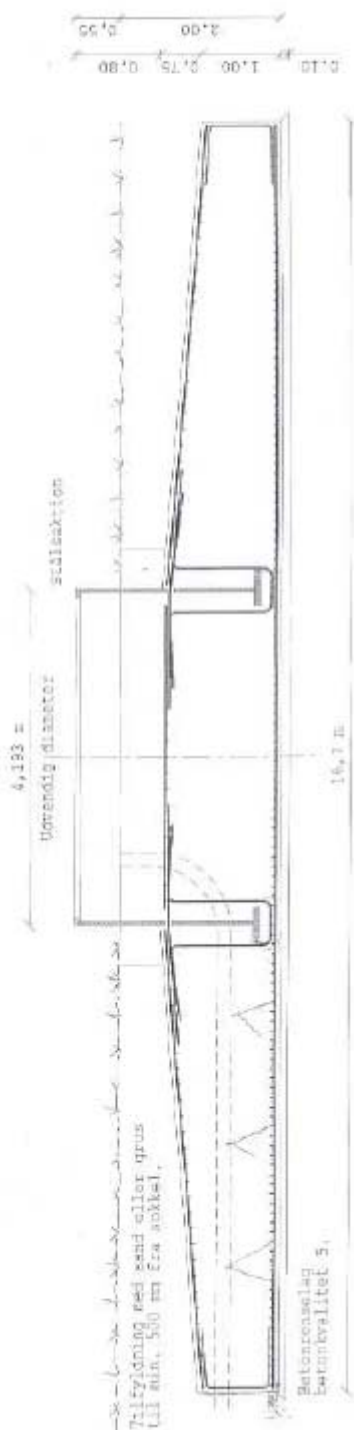
Bild 25: Formning av skyddsgjutning över yttre spännstag

6. Erfarenheter, slutsatser och förbättringspotential

Fundamentets design är avgörande för att uppnå problemfri drift under vindkraftverkets livslängd. Utformningen med en Insert ring är därvid inte optimal, eftersom ringen klipper av betongkonstruktionen i det snitt där böjmomentet och tvärkrafterna är som störst.

En mycket bättre konstruktion till reducerad kostnad erhålls om Insert ringen ersätts av en adapter som monteras uppe på fundamentet och som spänns fast med förspända grundbultar. En dylik lösning togs f.ö. fram för projektet i Brunsmo, Karlskrona, vilket innebar att fundamentets kostnad reducerades från 3,2 MSEK/st till ca 2,4 MSEK/st. Se vidare [bilaga D](#).

Bilaga A – ursprunglig fundaments design



FUNDAMENTSEKTION

Sektionen leveras af V907A3.

Justeringsstruts, afslutnings, kabelstrut, t.m. skidder i ved levering.

Sektionen opstilles på rensningslaget efter udlægning af nederteget arveringsnet.

Heretter justeres sektionen til korrekt højde og vandret topflange, ved hjælp af justeringsstruts, hvorefter kontraktstrutternes spændes.

Fundamentsektionen leveres overfladebehandlet.

Sektionen må på intet sted berøre aneringen, hvoeken i over- eller underside af fundamentspladen.

Under stabling af fundamentspladen, skal skidder ske samtidig i den og omkring fundamentsektionen, skal der anvendes stor omhyggelighed, således at den ikke forskubber sig.

Max. afvikling efter støbning ± 4 mm i højden.

Se endvidere beskrivelsen.

APPELINGS

V25 = subbeton 10 x 3 600 N/mm²
V32 = subbeton 10 x 3 500 N/mm²

BETON

Betonen sammensættes, blanding og behandling i overensstemmelse med DS 411/4.1.1.

Følgende definerer betontyperne som anvendes i

Miljøklasse	Moderat
Styrkeklasse	45 MPa
Konstruktions	Normal
Max. stæbning	32 mm

Det endende betoning med forskalling og rensning = 30 mm.
Det endende betoning ved støbning med jord = 100 mm.

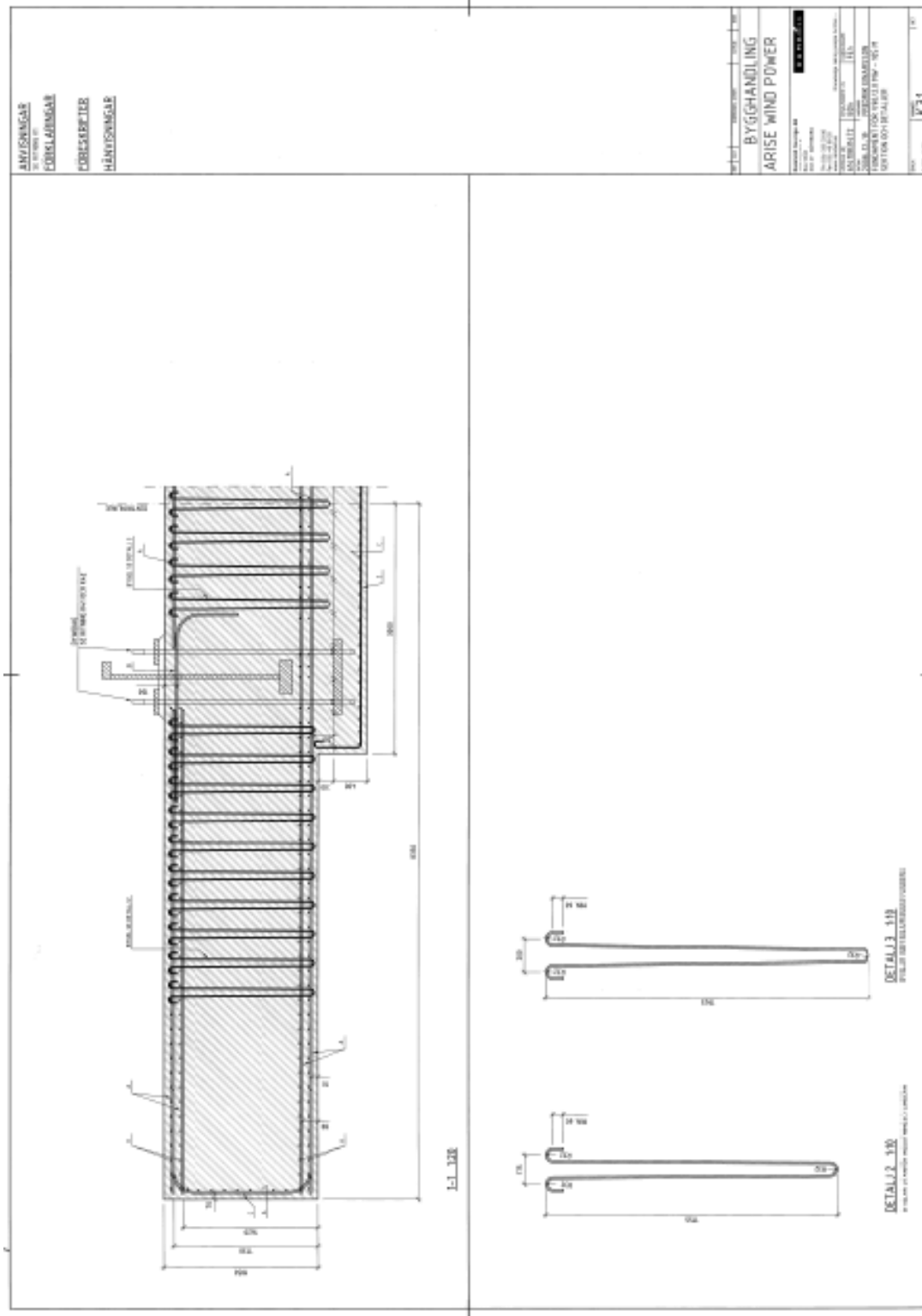
Betonskeden leveres i overensstemmelse med
"Norm for betonkonstruktioner DS 411/3 - 1984".

BEVÆGNINGER

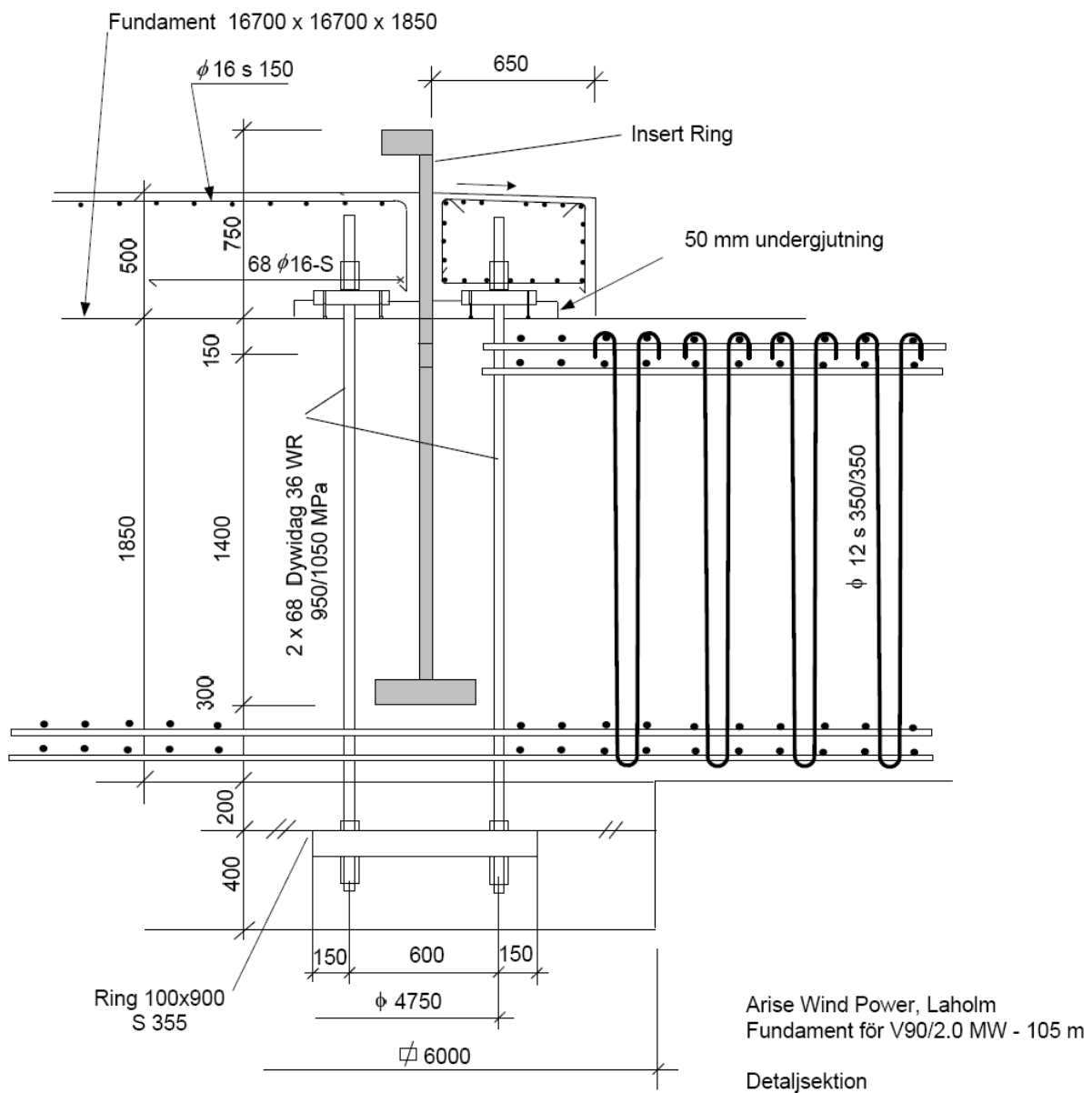
Alle udsmykter måler i m.

Sag	Oluf Møller Entreprenør AB	Sag nr.	056-07
Tegning	Fundament for V90/7.0 MW - 1001111 - 1001111 M	Tegning nr.	V90/105-12
	1001111 - 1001111 M	Skala	1/4
	THISTED APS	Dato	27-01-2003
	Placering: Ingeniørvej 4, 9340 Aved, +45 86 92 64 88		
	Over: Tegning af en anden sag nr. 056-07, medtaget af		
	af anden side aftegning af fundamentet som var tidligere afleveret.		
		Sign.	97/pt

Bilaga B – ny förbättrad fundamentals design – Oxhult



Bilaga C – ny förbättrad fundaments design – Oxhult detalj



Bilaga D – ny förbättrad fundaments design med adapter – projekt Brunsmo

