

PROVNINGAR I BARSEBÄCKS FILTRA

RAPPORT 2019:619



BETONGTEKNIK
KÄRNKRAFT

BETONGTEKNISKT PROGRAM
KÄRNKRAFT



Energiforsk

Provningar i Barsebäcks FILTRA

Bestämning av spännlinors spänning – Metodutveckling

MANOUCHEHR HASSANZADEH

ISBN 978-91-7673-619-7 | © Energiforsk oktober 2019

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Kärnkraftverkens inneslutningar är av säkerhetsskäl försedda med förspända spännkablar. För att skydda dessa mot korrosion kan de gjutas in, men detta medför att den kvarvarande spännkraften inte kan mätas utan att genomföra en förstörande provning.

Betongtekniskt program kärnkraft har startat ett arbete i flera etapper med slutmålet att genomföra en förstörande provning av kvarvarande spännkraft i reaktorinneslutningen i det nedlagda kärnkraftverket Barsebäck. I denna etapp har metoder för att identifiera, frilägga, instrumentera och kapa spännkablar testats i en spännarmerad filterbyggnad som står utomhus på Barsebäck. Projektledare har varit Manouchehr Hassanzadeh, senior konsult på Sweco och professor på LTH.

Betongtekniskt program kärnkraft driver forskning kring betongkonstruktioner inom kärnkraftverk. Det övergripande målet med det betongtekniska programmet är att säkerställa avsedd livslängd och hög tillgänglighet för svenska kärnkraftverk med bibehållen säkerhet och för att kunna driva en effektiv förvaltning. Intressenterna bakom Betongtekniskt program kärnkraft är Vattenfall, Uniper, Fortum, Teollisuuden Voima Oy (TVO) i Finland, Skellefteå Kraft, Karlstads Energi samt Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM).

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

Barsebäcks stenkondensor (FILTRA) består av två spännarmerade cylinderkonstruktioner av betong, en inre konstruktion som finns inuti en yttre konstruktion. Konstruktionerna har samma centrumaxel. I denna studie användes den yttre konstruktionen för att mäta spännkraften hos några av konstruktionens linor. Syftet var att bestämma hur spända linorna i ett med cementbruk injekterat foderrör var och hur fortplantades spännkrafterna när en lina kapades.

På tre ställen längs med en horisontell kabel markerades tre mätningstillfällen. Mätningstillfallenas längd i kabelns riktning var 1 m och deras bredd var 0,5 m. Genom sömborrning och vattenbilning avverkades 0,4 m av betongen i djupled, d.v.s. fram till ca 5 cm bakom ett foderrör. Foderröret skars bort och det bruk som omgav linorna vattenbilades. På 3 linor i samtliga mätstillfällen limmades trådtöjningsgivare. Linorna kapades, under pågående mätning, med vinkelslip, vilket ledde till att linornas avlastades.

Resultaten tyder på att linorna har relativt höga spänningar. Vidare visar resultaten att den avlastning som orsakas av linans kapning överförs till bruket och betongen och jämnas ut i konstruktionen. Avlastningen av enskilda linor påverkar inte spänningarna i intilliggande linor. Vidare, fortplantas inte avlastningen någon längre sträcka längs med den kapade linan utan avlastningen togs om hand av injektionsbruket och betongen.

Den kapade linan, med bibehållna givare, belastades åter i en provningsmaskin. Resultatet var lovande men provningsresultatets noggrannhet var inte tillfredsställande. Därför bör provningsmetoden (mätning av töjningar) undersökas i laboratoriet under kontrollerade förhållanden. Detta för att upptäcka metodens brister och felkällor.

Resultaten som helhet visar att liknande mätningar kan höja kunskaperna om de injekterade spännkabellarnas tillstånd och beteende vid brott samt ge input för verifiering av beräkningsmodeller.

Summary

Barsebäck's stone condenser (FILTRA) consists of two prestressed cylindrical concrete structures, an inner structure which is inside an outer structure. The structures have the same central axis. In this study, the outer structure was used to measure the prestressing level of some of the structure's strands. The purpose was to determine the stress level of the strands in a duct injected with cement grout, and to determine the propagation of the unloading stresses caused by a broken strand.

In three places along with a horizontal cable three measurement locations were marked. The length of the measuring locations in the direction of the cable was 1 m and their width were 0,5 m. By means of core-drilling and water-jetting, the concrete was removed to a depth of 0,4 m, approximately 5 cm behind the duct. After removal of concrete which covered the duct, the duct was cut and the cement grout which embedded the strands was removed by water-jetting. At each measuring location, strain gauges were glued on three strands. The strands were cut while the measurements were going on, i.e. the strains were registered all the time. In this way unloading of the strands was measured. The strands were cut by an angle grinder.

The results indicate that stress level in the strands is high. Furthermore, the results show that the unloading caused by the strand which has been cut off is transferred to the cement grout and concrete. Thereafter the unloading stress is distributed within the structure. The unloading of individual strands does not affect the adjacent strands since no stress variation was recorded in those strands during the cutting process. Furthermore, the unloading did not propagate far along the strand which had been cut off which indicates that the unloading was transferred to the cement grout and concrete.

The strands which were cut out of the structure were mounted, with maintained gauges, on a testing machine and loaded again to measure the original stress level. The results were promising, but the accuracy of the test results was not satisfactory. Therefore, the test method (strain measurements) should be improved, i.e. some additional development of the method is needed.

The results show generally that similar measurements can increase the knowledge about the condition and failure behaviour of the injected tendons and provide data for verification of the theoretical models.

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Syfte	8
1.3	Genomförande	8
1.4	Avgränsningar	8
2	Uppbyggnad av FILTRA	9
2.1	Cylindervägg	9
2.2	Spännarmering	9
2.2.1	Vertikala kablar	9
2.2.2	Horisontala kablar	10
2.2.3	Kabeltyp och spännkraft	10
2.3	Slakarmering	13
3	Mätningstillfällen	14
4	Etablering och vattenbilning	17
4.1	Byggställning	17
4.2	Vattenbilning	17
5	Provning	22
5.1	Placering och konditionen av spännlinor	22
5.2	Identifiering av linor	23
5.3	Montering av givare	26
5.4	Kapning av linor	27
6	Resultat	31
6.1	Mätningar i Barsebäck	31
6.2	Mätningar i laboratoriet	35
6.3	Analys	37
7	Diskussioner och slutsatser	38
8	Referenser	39

1 Inledning

Provningar i Barsebäcks FILTRA möjliggör utveckling av metoder för bestämning av ingjutna spännkablers spänning, studera inverkan av linbrott på intilliggande linor och fortplantning av spännkraftsförlust i konstruktionen. Resultaten kan användas för verifiering av beräkningsmodeller.

1.1 BAKGRUND

Spännkraften hos cementinjekterade spännkablar kan inte kontrolleras på samma sätt som icke injekterade spännkablar genom dragprovning med domkraft försedd med lastcell. Spännkraften hos de cementinjekterade spännkablarna kan enbart bestämmas/kontrolleras genom en kombination av indirekta mätningar – montering av givare på linorna vid byggtiden, monteringen av några icke injekterade spännkablar för kontroll av spänningsförluster samt montering av olika deformations- och töjningsgivare på konstruktionen för att mäta betongens krympning och krypning – och beräkningar. Det finns alltså ingen metod för mätning av spännkraften hos en injekterad spännkabel.

Rivning av Barsebäcksverket har skapat möjlighet bl.a. för forskning kring injekterade spännkablers egenskaper. Frågeställningarna har diskuterats i Hassanzadeh (2016) och (2017). I Hassanzadeh (2018) anges en detaljplanering för provningar av spännkablarnas spännkraft samt betongens mekaniska, krymp- och krypegenskaper. Resultaten skulle ligga till grund för kalibrering av beräkningsmodeller. På grund av att forskningsområdet är relativt nytt finns inte tillräckligt underlag för att kunna utforma och planera mätningar för att kunna bestämma ingjutna spännkablers spännkraft. Det behövs förprovningar för att kunna identifiera svårigheterna och felkällor som kan påverka resultaten. Föreliggande projekt initierades för att undersöka följande frågeställningar:

- Lokalisering av foderrör
- Frambilning av foderrör
- Frambilning av linor
- Utveckling av mätmetoder för
 - × identifiering av en utvald lina på flera ställen längs med ett foderrör,
 - × instrumentering av linor för bestämning av avlastning vid kapning och
 - × verifiering av avlastning, t.ex. genom pålastning i laboratoriet.
- Fortplantning av avlastning längs med samma lina och närliggande linor

Barsebäcks stenkondensor (FILTRA) valdes för förprovningarna. Anledningen till valet var att konstruktionen ligger utomhus och utanför kontrollerat område, vilket underlättar framkomligheten och minskar risken för inblandning av kontaminerat material.

1.2 SYFTE

Syftet var att utveckla utförande och testmetoder för bestämning av spännkablers spänningar i en reaktorinneslutnings betongkonstruktion.

1.3 GENOMFÖRANDE

Arbetet utfördes inom Barsebäcks område i samarbetet med följande grupper:

- Barsebäck som stod för vägledning på plats, framtagning av el och vatten, byggställning och arbetsbod.
- Skanska som stod för vattenbilning, borrning samt omhändertagandet av avverkat betong, slam och vatten.
- Force Technology som stod för lokalisering av foderrör och identifiering av linor.
- LTH, avdelningarna Konstruktionsteknik och Byggnadsmaterial, som stod för metodutveckling och mätning.
- Sweco Energy som stod för projektledning.

Allt arbete har finansierats av Energiforsk.

1.4 AVGRÄNSNINGAR

Arbetet har syftat till att utveckla och testa olika metoder samt att förbereda sig för att genomföra ett liknande projekt i Barsebäcks reaktorinneslutning. Inga djupa analyser av resultaten har därför genomförts.

2 Uppbyggnad av FILTRA

2.1 CYLINDERVÄGG

Barsebäcks stenkondensor (FILTRA), Figur 1, består av två spännarmerade cylinderkonstruktioner, en inre konstruktion som finns inuti den yttre konstruktionen, Figur 2. Denna studie avser den yttre konstruktionens cylindervägg. FILTRA's 2 m tjocka bottenplatta är grundlagd på nivå + 101,0 m. Cylinderväggen är 35,3 m hög och dess tjocklek är 1,0 m mellan nivå +105,5 och nivå 136,3. Den är tjockare mellan nivå +103,0 och +105,5 respektive nivå +136,3 och +138,3. Dess tak är 2,2 m tjock. Cylinderväggens inre respektive yttre radie är 10,0 respektive 11,0 m.

Den yttre cylinderväggen är armerad med både spänn- och slakarmering.



Figur 1 Barsebäcksverkets stenkondensor.

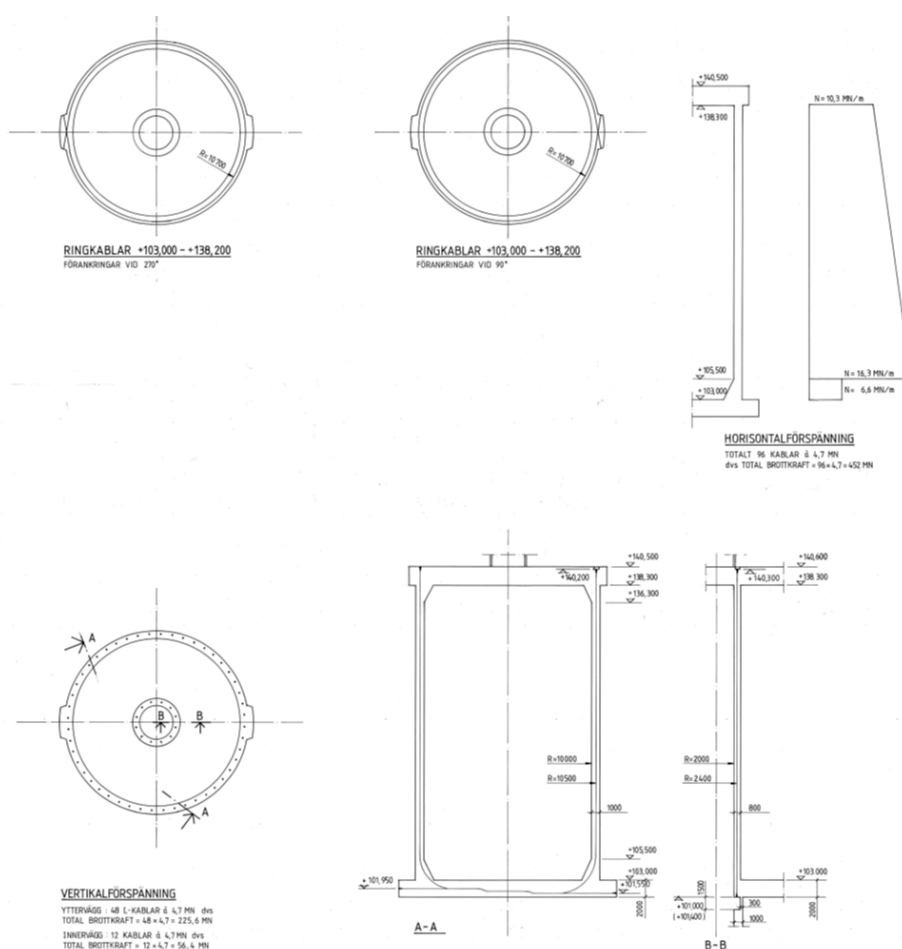
2.2 SPÄNNARMERING

2.2.1 Vertikala kablar

Cylinderväggen innehåller totalt 48 kablar med c-c vinkelavstånd $7,5^\circ$ motsvarande 1375 mm, BILAGA 2. Kablar spänner väggen mot grundplattan och taket (ringbalken). Kablarna är placerade mitt i väggen, d.v.s. att deras centrum ligger på en ring med radien 10,5 m på det horisontella planet. Kablarnas centrum är placerade 0,5 m från väggens ut- respektive insida.

2.2.2 Horisontala kablar

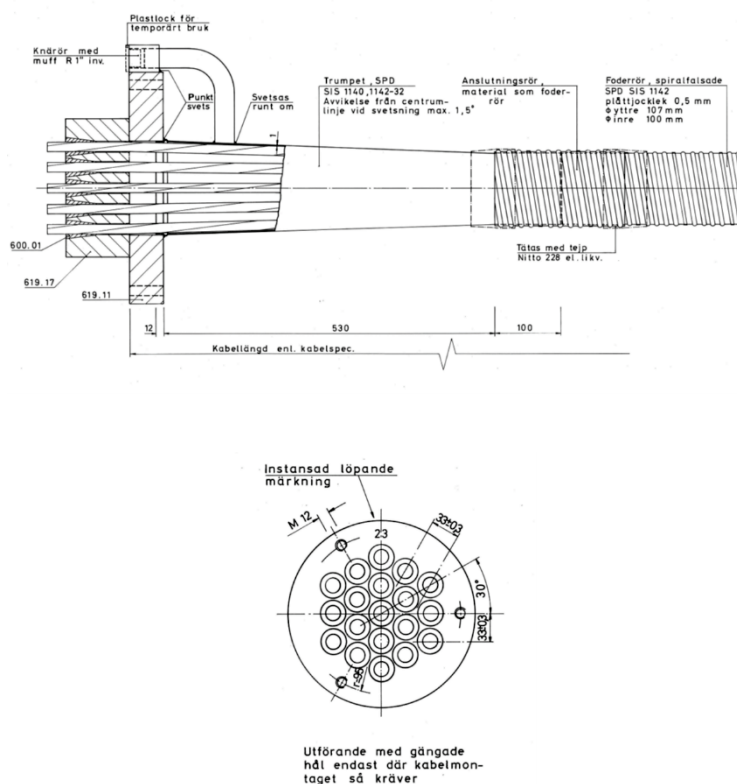
Cylinderväggen innehåller totalt 96 kablar som är placerade med varierande c-c avstånd i höjddled, BILAGA 3. De enskilda horisontella kablarna spänner runt hela cylinderväggen, d.v.s. att de börjar och slutar (förankrad) på en och samma pilaster. Det finns två pilastrar, varav den ena är placerad vid 90° och den andra är placerad vid 270°. Två efterföljande kablar är inte förankrade på samma pilaster. De horisontella kablarnas centrum ligger 0,3 m från cylinderväggens yttre yta.



Figur 2 Barsebäckverkets stencondensor, spännkablar i yttre och inre cylindervägg, Ritning: L-32-001-A, BILAGA 1.

2.2.3 Kabeltyp och spännkraft

Kabeltyp är enligt ritning L-32-014, BILAGA 4, VSL 19 linor Ø15,4 mm. Den förankringsenhet som anges är E6-19, Figur 3. Samma kabeltyp används för både horisontella och vertikala kablar. Enligt Ritning L-32-001-A, BILAGA 1, är brottkraften för varje kabel 4,7 MN. Ritningen definierar inte termen "Brottkraft". Inga uppgifter är angivna på ritningarna angående spännkraften.



Figur 3 VSL-förankring typ E6-19 för kablar av 19Ø15,4 mm linor, Ritning L-32-014, BILAGA 4.

I BILAGA 5 visas uppgifter från VSL (VSL post-tensioning solutions) som anger egenskaperna hos 15 mm (0,6") linor samt kablar med olika antal 15 mm linor. Enligt VSL's tabell för 6-19 kabel med 19 linor finns med hänsyn till den nominella diametern (d) två olika linor, d.v.s. den en linan har diametern 15,3 mm och den andra har diametern 15,7 mm. Diametern är bestämd enligt EN standard. Det finns inte någon lina med 15,4 mm diameter i VSL's katalog. Det är möjligt att vid byggtiden fanns linor med 15,4 mm nominell diameter.

För 15,3 mm linan anger VSL brottlasten (Breaking load) 4,94 MN för en kabel. Brottlasten enligt Ritning L-32-001-A är 4,7 MN. VSL anger brottlasten 4,68 MN för en kabel med 18 linor. Följande har noterats efter genomgång av befintligt material:

- att det inte går att med säkerhet fastställa kablarnas och linornas egenskaper,
- att det inte finns några uppgifter om spännkrafterna och
- att en arkivsökning bör utföras för att fastställa de sökta egenskaperna.

Tabell 1 används i fortsättningen.

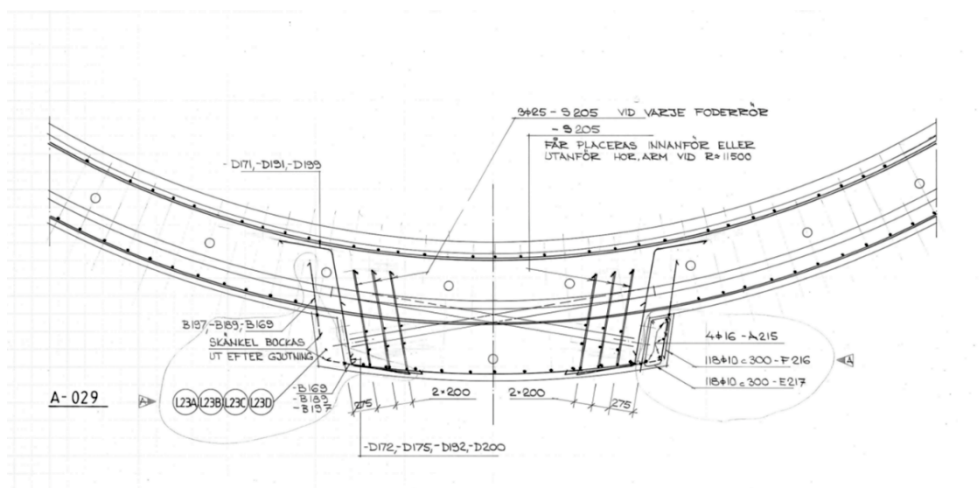
Tabell 1 Egenskaper för 15 mm (0,6") lina och kabel.

Lina			
Nominell diameter	d	(mm)	15,3
Nominell tvärsnittsarea	A_p	(mm ²)	140
Nominell massa	M	(kg/m)	1,93
Nominell flytgräns	$f_{p0,1k}$	(MPa)	1636
Nominell draghållfasthet	f_{pk}	(MPa)	1860
Specif./min. brottlast	F_{pk}	(kN)	260
Elasticitetsmodul	E	(GPa)	195 (approx.)
Relaxation efter 1000 h vid 20 °C och $0,70 \times F_{pk}$		(%)	2,5 (max)
Kabel (19 linor)			
Stålarea	A_k	(mm ²)	2660
Brottlast	F_{kk}	(kN)	4940
Inre diameter (foderrör)	$\emptyset_i$	(mm)	100
yttre diameter (foderrör)	$\emptyset_e$	(mm)	107
Plåttjocklek (foderrör)	t	(mm)	0,5

Enligt Ritning L-32-014 är foderröret spiralfalsade med en yttre respektive en inre diameter på 107 mm respektive 100 mm. Plåttjockleken är 0,5 mm. Foderrörsspecifikationerna stämmer bra överens med de specifikationer som VSL's katalog anger.

2.3 SLAKARMERING

Det finns två lager av slakarmering, varav ett lager mot insidan och ett annat lager mot utsidan, Figur 4. Varje lager består av både vertikala och horisontella armeringsstänger med 32 mm diameter. De horisontella stängerna är placerade med 300 mm c-c avstånd. De vertikala stängerna är placerade med 7,5° c-c vinkelavstånd som motsvarar ca 357 mm c-c avstånd i det yttre lagret.

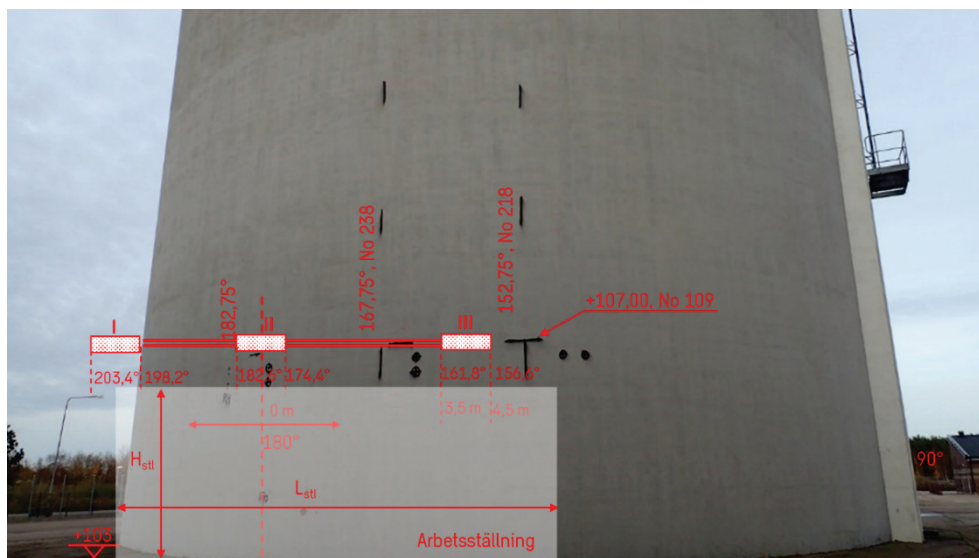


Figur 4 Horisontal och vertikal slakarmering.

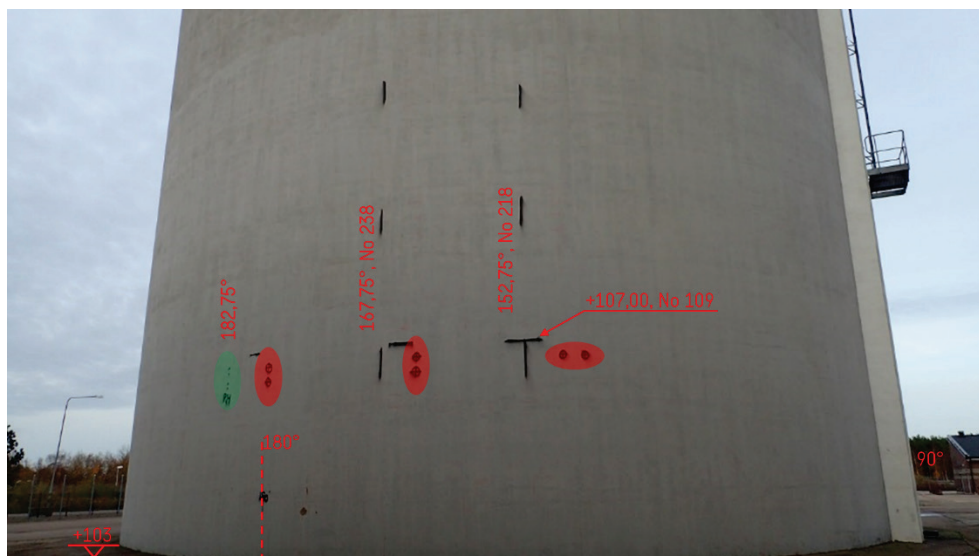
3 Mätningsställen

Följande steg var ursprungligen planerade för provningarnas utförande:

1. Lägesbestämning av två vertikala och ett horisontellt foderrör
2. Foderrörens placering bestämdes med hjälp av georadar och ultraljud, Figur 5. Arbetet utfördes av FORCE Technology.
3. Markering av tre områden ovanpå ett vertikalt foderrör för frambilning av foderröret
4. Mätningar och kontroll med hjälp av ritningar visade att de horisontella foderrören var tättplacerade, vilket kunde försvåra vattenbilningen av betong fram till de vertikala foderrören. Därför bestämdes att utföra mätningarna på en horisontell kabel. De horisontella kablarna är placerade närmare ytan. Horisontal kabel No 109 på nivå +107,0 m valdes för provningarna eftersom avståndet mellan denna kabel och kabel No 108 som ligger på en lägre nivå var enligt ritningen ca 1 m, se BILAGA 3. Tre mätningsställen (ca 1 m långa) markerades mellan 156,6° och 203,4°, se Figur 5.
5. Lägesbestämning av tre borrhingspunkter med OFP för kärnborrning
6. Tre borrhingsställen bestämdes för att kunna utföra djupa kärnborrningar utan att skära armering eller foderrör. Syftet var att testa OFP's möjlighet att lokalisera borrhingsställen utan armering eller foderrör. Borrhingsställena framgår av Figur 6, tre par som är omringade med röda elipser. Borrkärnorna visas i Figur 7.
7. Två djupa borrningar för montering och test av RF-mätare
8. Syftet var som ovan, d.v.s. inga RF-mätningar var planerade. Borrhingsställena är inom den gröna elipsen i Figur 6.
9. Vattenbilning av betong och borttagning av foderrör
10. Beskrivs i avsnitt 4
11. Vattenbilning kring linor, friläggning av linor samt kärnborrning
12. Beskrivs i avsnitt 4
13. Identifiering av linor längs med foderröret
14. Beskrivs i avsnitt 5
15. Montering av trådtöjnings- och temperaturgivare samt LVDT på en lina, på samtliga frambilade mätningsställen
16. Beskrivs i avsnitt 5
17. Montering av två trådtöjningsgivare (en i vertikal riktning och en i horisontell riktning) på betongen i ett mätningsställe
Beskrivs i avsnitt 5
18. Fixering av en lina och kapning av linan
Beskrivs i avsnitt 5



Figur 5 Markering av mätningstillfällen. Pilastern till höger i bild är placerad vid 90°. Pilastern vid 270° är placerad mitt emot 90° pilastern, till vänster i bilden men syns inte.



Figur 6 Markering av mätningstillfällen, punkterna avsedda för djupa kärnbörningar är inom röda elipsen och punkterna avsedda för djupa börningar för placering av RF-givare är inom den gröna elipsen.



Figur 7 Borrkärnor från djupa borrhinar.

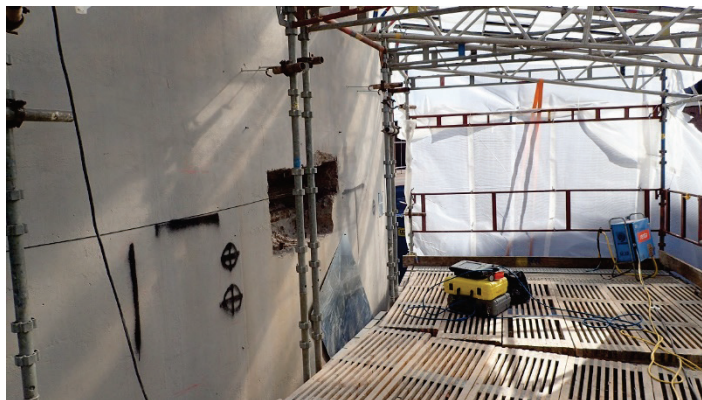
4 Etablering och vattenbilning

4.1 BYGGSTÄLLNING

Byggställning, monterades av Heab Byggställningar AB. Ställningens placering framgår av Figur 5 och Figur 8. Ställningen var försedd med regnskydd.



a) Exteriör



b) Interiör

Figur 8 Ställning för vattenbilning och utförande av provningar.

4.2 VATTENBILNING

Vattenbilning kräver relativt mycket vatten. Vattenbilning producerar även mycket slam som bör sedimenteras och avskiljas från vattnet. För att minska vatten- och slammängden utfördes först sömborring inom ett 1 m × 0,5 m fönster till ca 200 mms djup, Figur 9. Därefter vattenbilades fönstret till ca 400 mms djup. Efter avslutad vattenbilning skars foderröret och injekteringsbruket blottades, Figur 10.



Figur 9 Sömborring med efterföljande vattenbilning.



Figur 10 Avskuret foderrör och synligt injekteringsbruk som omger spännlinorna.

Provningarna var planerade att utföras på kabel No 109. Vattenbilningen utfördes på den nivå som antogs vara kabel No 109's läge. När första foderröret blev synligt antogs det som kabel No 109, vilket senare visade sig att vara felaktigt och att det

synliga foderröret tillhörde kabel No 110 och kabel No 109 vara placerad under det synliga foderöret, Figur 11. I Figur 11 är kabeln med synliga linor kabel No 110 och det underliggande foderröret tillhör kabel No 109.



Figur 11 Synliga linor efter vattenbilning. Linorna tillhör kabel No 110 som misstogs för kabel No 109. Kapade vertikala slakarmeringsstänger är synliga i bilden.

Placering av foderrören i djupled varierade och stämde inte alltid överens med ritningen. Därför skars ibland foderrören av borrhärnan, som skadade linorna. Figur 12 visar avskurna trådar i en lina. Som framgår av figuren är vidhäftningen tillräcklig för att hålla de avskurna trådarna kvar.



Figur 12 Skadade linor i samband med sömborring. Askurna trådar är synliga i bilden.

Det bör noteras att inga trådar i kabel No 110, som provades, blev skadade under borrhningen och vattenbilningen.

Vattnet samlades i containrar för sedimentation, Figur 13. Totalt samlades 74 m³ vatten från vattenbilning och kärnborrhning. Vattnets pH var mellan 10 och 11. Det höga pH-värdet beror på att betongen innehåller kalciumhydroxid som löses i vatt-net. En mättad kalciumhydroxidlösning har ett pH-värde på 12,5. Enligt krav från Barsebäck kunde vattnet inte släppas ut i dagvattenledningen. På grund av att Bar-sebäckverket inte hade något deponeringsställe för bygg- och renshusprodukter kunde vattnet inte deponeras inom området. Puls AB transporterade vattnet ca 74 ton samt betongen, 2,6 ton, till ÅGAB.

Efter avslutat arbete täcktes de vattenbilade hålen med galvaniserad plåt, Figur 14.



a) Containrar för samling av vatten.



b) En container med vatten efter vattenbilning

Figur 13 Containrar för samling av vattenbilningens vatten.



Figur 14 Efter avslutat arbete täcktes de vattenbilade hålen med rostfri plåt.

5 Provning

5.1 PLACERING OCH KONDITIONEN AV SPÄNNLINOR

De spännkablar som finns i FILTERA består av 19 linor, avsnitt 2.2, som består i sin tur av 7 trådar. Linorna placeras i foderrör och spänns. Därefter injekteras foderröret med bruk som omger linorna. På grund av att linorna är tätplacerade trängs inte bruket mellan linorna, utan det enbart omger "linknippen". När det gäller de horisontella kablarna så trycks linorna mot foderröret i riktning mot cylinderbyggnadens centrum. Figur 15 visar vattenbilade linor som sticker ut från ett foderrör. Injekteringsbruket innanför röret är synligt. Som framgår av figuren är avståndet mellan linorna och rörets vägg över 40 mm. Foderrörets inre diameter är 100 mm, vilket tyder på att linknippen trycks mot foderrörets vägg i riktning mot centrum av cylindern.



Figur 15 Placering av linor i ett horisontellt foderrör. De linor som är utanför foderröret är vattenbilade.

Under och efter vattenbilningen observerades att avståndet mellan foderröret och betongväggs utsida varierar, vilket ledde till skador på några linor. När det gäller kabel No 110 skadades inga linor. Figur 16 visar placering av kabel No 110's foderrör. Som framgår av figuren är avståndet mellan foderrörets vägg (mot utsidan) och betongväggs utsida ca 290 mm, d.v.s. ca 40 mm större än den avsedda $250\text{ mm} = 300\text{ mm}$ (placering av rörets centrum enligt ritning) $- 100/2$ (100 är foderrörets inre diameter). Avvikelsen har i detta fall varit gynnsam, eftersom borrhäran inte har nått till linorna.

I Figur 16 syns även en vertikal och en horisontal slakarmeringsstång. Till höger om linorna syns även ett vertikalt foderrör. Figur 17 visar ett foderrör inom ett annat mätningställe.

Bortsett från de skador som uppstod under borrhning och vattenbilning var samtliga foderrör, injekteringsbruk i god kondition. Inga skadade foderrör noterades. Inga luftfickor i och kring injekteringsbruket noterades. Inga linor hade korrosionsskador. Korrosionsprodukter avlägsnas från linorna om de vattenbilas. Av denna anledning hade de korrosionsprodukter som eventuellt skulle ha funnits på

linorna inte kunnat upptäckas. Men inga gropar som skulle kunna antyda att korrosionsskador har förekommit upptäcktes inte. Samtliga trådarnas synliga ytor var oskadda och släta.



Figur 16 Avstånd mellan foderröret (linorna) och betongväggens utsida.



Figur 17 Horisontella linor och ett vertikalt foderrör.

5.2 IDENTIFIERING AV LINOR

Genom vattenbilning öppnades tre fönster (provningsställe) för utförandet av provningar, Figur 5. Provningsställena (längd respektive bredd var ca 1 m respektive 0,5 m) I, II och III var placerade mellan vinkel 156,6° och 203,4°. Centrumavståndet mellan provningsställena var ca 4 m. Placeringen valdes med hänsyn till att kabel No 109 (som var det ursprungliga valet) var förankrad i pilastern vid 270°. Kapningspunkten skulle vara placerad nära en pilaster för att minska de rörelser som skulle ha kunnat uppstå på grund av linans avlastning. Den valda linan skulle kapas i provningsställe I och kapningspunkten skulle väljas i den högra änden av provningsstället, eftersom linan skulle bli längre till höger om kapningspunkten jämfört med den del som låg till vänster om kapningspunkten. Den del av

linan, d.v.s. den högra delen, med större energi skulle dras in i foderröret utan att medföra någon skada. Den vänstra delen med lägre energi skulle kunna röra sig.

Den totala rörelsen hos en fri lina, med en spänning nära brottspänningen, på grund av avlastningen hade uppskattats till 0,62 m varav 0,12 m skulle dras mot vänster och 0,5 m till höger. Givarna skulle placeras till vänster om kapningspunkten.

Som framgick ovan förväxlades kabel 110 med kabel 109. När misstaget upptäcktes var det för sent och då beslutades att välja kabel 110 för provningar. Kabel 110 är förankrad i pilastern vid 90°. Provningsställe III ligger närmast 90° pilastern. Därför valdes provningsställe III som första kapningsstället. Följaktligen placerades linans första kapningspunkt i den vänstra änden av provningsställe III.

Den valda linan skulle instrumenteras i samtliga provningsställena. Syftet var att undersöka avlastningen vid kapningsstället samt avlastningens fortplantning längs med den valda linan. Vidare, skulle inverkan av kapning av intilliggande linor på den instrumenterade linan bestämmas. För att kunna uppnå syftet var det nödvändigt att välja ut en lina som är lätt att instrumentera och kapa. Vidare var det nödvändigt att identifiera samma lina i de övriga mätställena, d.v.s. i mätställe II och I.

För ändamålet hade FORCE Technology utvecklat en metod som var baserad på seismiska metoder. Metoden fungerade i laboratoriet men inte i konstruktionen. Anledningen var att linorna var tättplacerade och det bruk som omgav linorna var kompakt med god vidhäftning mot linor och foderrör, som förbrukade exciteringsenergien. Med hjälp av vanlig manuell lägesbestämning och georadar kunde fyra linor längs med kabeln och inom mätställena identifieras. Linorna är markerade med röda prickar i Figur 18. Antalet prickar ska tolkas som linans nummer t.ex. lina 1 har en pricka "•" lina 3 har tre prickar "•••".

Identifiering av linor var osäker därför bestämdes att tre linor skulle instrumenteras. Beslutet fattades för att säkerställa mätningen av avlastningens fortplantning i en lina.



a) Mätningssälle I



b) Mätningssälle II



c) Mätningssälle III

Figur 18 Markering av samma lina på olika mätningssällen. Linorna är markerade med röda prickar. Antalet prickar på en lina anger linans nummer, t.ex. lina markerad med ... är lina nummer 3.

5.3 MONTERING AV GIVARE

Lina 1 valdes som huvudlina för montering av trådtöjningsgivare (TTG), temperaturgivare och LVDT (lägesgivare, Linear Variable Displacement Transducer). Tabell 2 sammanställer montering av TTG och temperaturgivare samt Figur 19 visar montering av TTG på linorna 1, 2 och 3 och LVDT på Lina 1 i provningsställe III.

Tabell 2 Sammanställning av monterade trådtöjningsgivare (TTG) och temperaturgivare. Mätningstillena framgår av Figur 5, linorna framgår av Figur 18. TTG limmades på en tråd. På lina 1 limmades 3 TTG på tre olika trådar. Beteckningarna v (vänster), m (mitten) och h (höger) anger placering av givarna i förhållande till varandra sett från betraktaren.

Mätningstillälle	Lina	TTG-v	TTG-m	TTG-h	Temp.
I	1	X	-	X	X
	2	-	X	-	-
	3	-	-	-	-
II	1	X	X	X	X
	2	-	X	-	-
	3	-	X	-	-
III	1	X	X	X	X
	2	-	X	-	-
	3	-	X	-	-
X = givare installerad - = givare inte installerad					

Som framgår av Tabell 2 limmades på varje mätningstillälle tre TTG på tre olika trådar av lina 1. Syftet med att limma tre stycken TTG på tre olika trådar var att upptäcka eventuella skillnader i spänningsnivå mellan de olika trådarna. Anledningen till metodvalet var att utföraren inte hade hittat någon givare som kunde mäta en hel linans avlastning. Som framgår av Figur 19 är linorna tättplacerade, vilket försvårar montering av den typ av givare som kan mäta en linas avlastning. Önskvärt är att mäta medelvärde av en linas samtliga tråders avlastning. Därför limmades tre TTG på tre olika trådar på lina 1 för att dels upptäcka eventuella skillnader i trådarnas avlastning och dels beräkna ett medelvärde av tre tråders avlastning. Förhoppningen var att medelvärde skulle kunna vara representativt för hela linan. Beteckningarna v, m och h i tabellen visar de olika givarnas placering i förhållande till varandra sett från betraktaren. På lina 2 limmades en givare på samtliga mätningstillällen. På lina 3 limmades en givare på mätningstillällen II respektive III.

LVDT monterades på lina 1 på mätningstillälle III. Infästningen fungerade inte på ett tillfredsställande sätt, därför något mätresultat finns inte.

Två trådtöjningsgivare - den ena för mätning av vertikala töjningar och den andra för horisontella töjningar - limmades på betongen ovanför mätningstillälle III.

Givare för mätning av temperatur monterades på lina 1 på samtliga mätningstäl-
len. Syftet var att dels registrera temperaturökningen under kapningen och dels
kunna kompensera för temperaturskillnaden mellan laboratoriet och fältet, d.v.s.
att uppskatta töjningsförändringar som orsakas av skillnaden mellan temperaturen
i fält och i laboratoriet vid provningstillfället.



Figur 19 Montering av trådtöjningsgivare och LVDT (lagesgivare) på linor i provningsställe III.

Följande typer av givare användes:

- Trådtöjningsgivare för betong: fabrikat HBM, typ 100/120 CLY41-4L, mätlängd 100 mm.
- Trådtöjningsgivare för lina: fabrikat HBM, typ 3/120 CL41-4L, mätlängd 3 mm.
- LVDT: fabrikat RDP mätområde 10 mm, noggrannhet 0,003 mm.
- Termoelement: fabrikat Pentronic, typ AWG 24 PVC 105 °C, noggrannhet $\pm 0,5$ °C.
- Dataloger: fabrikat HBM, typ Quantum X modell MX840B, noggrannhetsklass 0,05 %.

5.4 KAPNING AV LINOR

Kapning av linor börjades i mätningställe III. Linorna kapades först i den vänstra änden av mätningstället. Före kapningen fixerades linorna med hjälp av två slangklämmor Figur 20 och ett gnistskydd tillverkade av plexiglas monterades utanpå mätningstället, Figur 21. Plexiglaset skulle även stoppa eventuellt slag från kapade linor.

Den första lina som kapades var lina 4, d.v.s. den lina som ligger under lina 3 i Figur 20. Linan var utan mätningsgivare. Syftet med att välja lina 4 som den första linan som skulle kapas var att testa kapningsmetoden samt att se inverkan av ett linbrott på de linor som var försedda med mätningsgivare.

Kapningen genomfördes med vinkelslip, Figur 22. Inga plötsliga brott eller slag inträffade. Linans rörelse efter avslutad kapning var begränsad till några mm kanske högst en centimeter, Figur 23. Det bör noteras att de mellanrum som syns mellan kapade delarna i Figur 23 inkluderar även den bit av linan som har skurits bort av

vinkelslipen. Därför är den verkliga rörelsen mindre än det mellanrum som framgår av figuren.

I samband med kapningen uppsprättades några kablar, Figur 24. Anledningen inte är känd men det kan bero på att linorna vrids i samband med uppspänningen och det vridande momentet medför att elastisk energi lagras i linan. I samband med kapningen frigörs energin som försöker vrida linan vilken sprättar upp linan. Vridningen och uppsprättningen förstörde några limmade TTG.

Kapning av linor genomfördes i följande ordning:

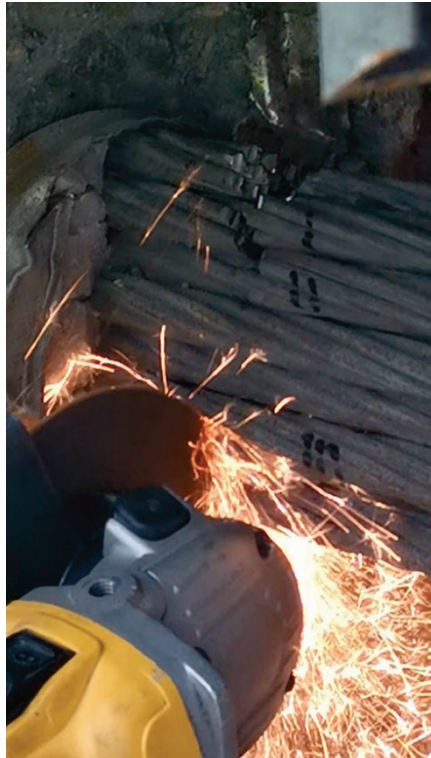
- Mätningsställe III: lina 4, lina 1, lina 2 och lina 3. Samtliga linors vänstra ände kapades först därefter kapades deras högra ände.
- Mätningsställe II och III: Lina 1, lina 2 och lina 3. Samtliga linors vänstra ände kapades först därefter kapades deras högra ände.



Figur 20 Fixering av linor i provningsställe III.



Figur 21 Skydd, tillverkat av plexiglas, mot gnistor och eventuellt okontrollerat linbrott vid kapning av linor.



Figur 22 Kapning av linor med vinkelslip.



Figur 23 Kapade linor.



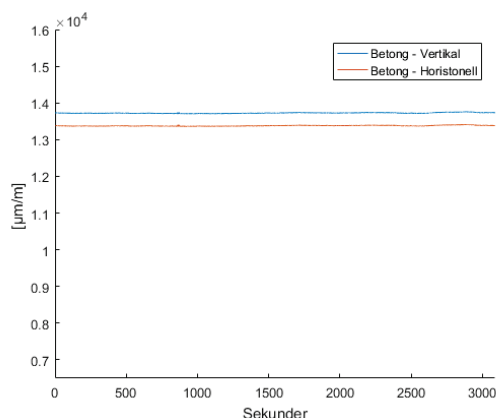
Figur 24 Två uppsprättade linor.

6 Resultat

6.1 MÄTNINGAR I BARSEBÄCK

Mättningsresultaten presenteras i detta avsnitt med hjälp av töjnings-tiddiagram och tabeller. I töjningsdiagrammen avläses töjningen på den vertikala axeln med enheten $\mu\text{m}/\text{m}$, som kan omvandlas till microstrain genom att multiplicera den med 10^{-6} . Det värde som avläses på den vertikala axeln är inte nollställt värde, utan den måste antingen nollställas med värdet vid tiden noll eller värdet vid annan referensstidpunkt om man vill bestämma den relativ förändringen i förhållande till referenspunkten, t.ex. differens mellan töjning före och efter kapning som benämns här "avlastning". Den horisontella axeln visar tiden i sekunder. Tiden avser effektiv tid från start till slut, d.v.s. att stopptiderna är borttagna. Härmed, sammanfaller töjnings-tiddiagrammens tidsaxlar.

Figur 25 visar icke nollställda töjningar i betongen under hela försökstiden. Figuren visar att kapning av linor inte har påverkat töjningarna i betongväggens yta.

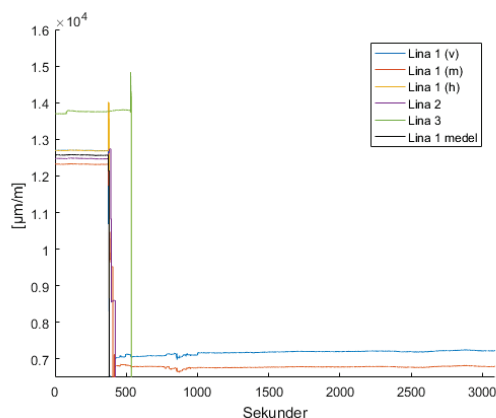


Figur 25 Töjningar på betongväggens utsida.

Figur 26 visar töjningarna i mättningsställe III. Lina 1(v) respektive Lina 1(m) visar värdena $1,27 \cdot 10^4 \mu\text{m}/\text{m}$ respektive $1,23 \cdot 10^4 \mu\text{m}/\text{m}$ före kapning och värdena $0,71 \cdot 10^4 \mu\text{m}/\text{m}$ respektive $0,68 \cdot 10^4 \mu\text{m}/\text{m}$ efter kapningen. Värdena framgår även av Tabell 3. Differenserna är $0,56 \cdot 10^4 \mu\text{m}/\text{m}$ respektive $0,55 \cdot 10^4 \mu\text{m}/\text{m}$ för respektive mättningspunkt, d.v.s. att avlastningen är lika stor i båda trådarna i Lina 1. Trådtöjningsgivaren i Lina 1(h) gick av under kapningen och därmed inte har registrerat något värde efter kapningen. Trådtöjningsgivarna på Lina 2 (en givare) och Lina 3 (en givare) har också gått av under kapningen och inte har kunnat registrera något värde.

Tabell 3 visar temperaturen i Lina 1 (mättningsställe III) före och efter kapningen. Maximum temperaturen visar den temperatur som uppnåddes under kapningen. Figur 27 visar temperaturförändringen i Lina 1 under kapningen. Som framgår av figuren ökar temperaturen från 9°C till $16,4^\circ\text{C}$ under kapningen för att sedan återgå till 9°C efter avslutad kapning.

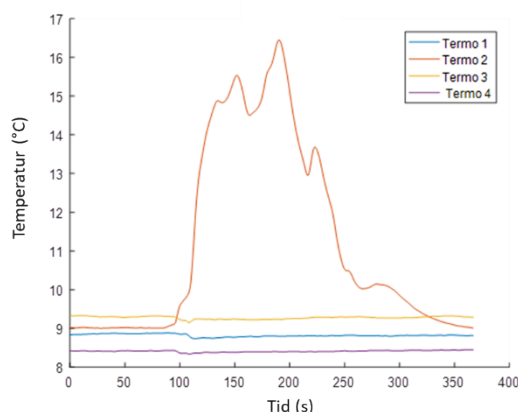
Lina 4 kapades före Lina 1, Lina 2 och Lina 3. Som framgår av Figur 26 har kapning av Lina 4 inte påverkat töjningarna i de övriga linorna. Inga plötsliga förändringar märks på den horisontella initiala delen av kurvorna. Om kapning av Lina 4 hade påverkat de övriga linorna hade det visats sig som en ökning av nivån hos de horisontella initiala delarna. Två plötsliga höga signaler noteras för Lina 1(h) och Lina 3. Signalerna orsakas av brus i el-systemet.



Figur 26 Töjningar i linor på mätställe III.

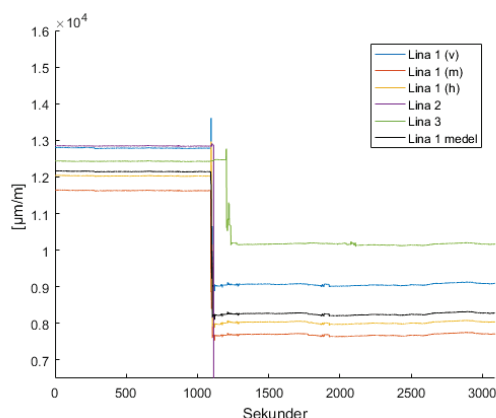
Tabell 3 Mätvärden för olika givare före och efter kapning av linor på mätställe III. Töjningarna är i $\mu\text{m}/\text{m}$.

Mätställe	Före kapning	Efter kapning	Avlastning
Lina 1(v)	$1,27 \cdot 10^4$	$0,71 \cdot 10^4$	$0,56 \cdot 10^4$
Lina 1(m)	$1,23 \cdot 10^4$	$0,68 \cdot 10^4$	
Lina 1(h)	$1,27 \cdot 10^4$	*Givarbrott	
Lina 2	$1,25 \cdot 10^4$	*Givarbrott	
Lina 3	$1,38 \cdot 10^4$	*Givarbrott	
Temperatur	$9,0 \text{ }^\circ\text{C}$	$9,0 \text{ }^\circ\text{C}$	Max = $16,4 \text{ }^\circ\text{C}^*$
*) Med Max. temperatur menas den högsta temperatur som uppstår under kapningen.			
Betong Vertikal	$1,37 \cdot 10^4$	$1,37 \cdot 10^4$	0
Betong horisontal	$1,34 \cdot 10^4$	$1,34 \cdot 10^4$	0



Figur 27 Temperaturförändring under kapning av Lina 1 på mätningställe III.

Figur 28 visar töjningarna i mätningställe II. Som framgår av figuren har kapningarna i mätningställe III inte påverkat töjningarna i mätningställe II. De kapade linornas spännkraft överförs till betongen via injekteringsbruket och fördelas över större område vilket medför att effekterna inte är märkbara. Avståndet mellan trådtöjningsgivarna i mätningställe III och II är ca 4 m, och mellan de finns ca 3 m orörd betong. Resultatet tyder på att all avlastning jämnas ut inom den sträckan. Som framgick ovan påverkar inte kapningarna de intilliggande linorna heller, vilken tyder på att det är injekteringsbruket som i första hand tar hand om avlastningen. Avlastningen är överlag något mindre i mätningställe II. Medelavlastningen för Lina 1 är $0,39 \cdot 10^4 \mu\text{m/m}$, Tabell 4, d.v.s. lägre än samma linas avlastning på mätningställe I. Orsaken är inte känd. Bland inverkanse faktorer kan avståndet till upplaget, avlastning som orsakas av vattenbilning (betongen bakom foderröret avlägsnas), antal närliggande spännkablar, injekteringsbrukets egenskaper, fukt och temperaturförhållandena, mm. Även mätmetoden kan orsaka avvikelser. Det är viktigt att trådtöjningsgivaren har samma riktning som trådens längdaxel, vilken kan vara svårt att uppfylla.

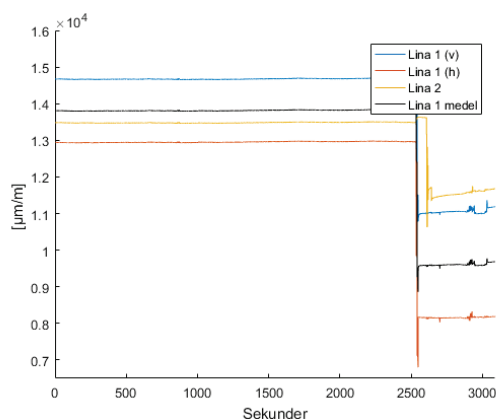


Figur 28 Töjningar i linor på mätningställe II.

Tabell 4 Mätvärden för olika givare före och efter kapning av linor på mätningställe II. Töjningarna är i $\mu\text{m}/\text{m}$.

Mätställe	Före kapning	Efter kapning	Avlastning
Lina 1(v)	$1,28 \cdot 10^4$	$0,91 \cdot 10^4$	$0,39 \cdot 10^4$
Lina 1(m)	$1,16 \cdot 10^4$	$0,77 \cdot 10^4$	
Lina 1(h)	$1,20 \cdot 10^4$	$0,80 \cdot 10^4$	
Lina 2	$1,28 \cdot 10^4$	*Givarbrott	-
Lina 3	$1,24 \cdot 10^4$	$1,02 \cdot 10^4$	$0,22 \cdot 10^4$
Temperatur	$9,6 \text{ }^\circ\text{C}$	$9,6 \text{ }^\circ\text{C}$	Max = $13,3 \text{ }^\circ\text{C}^*$
*) Med Max. temperatur menas den högsta temperatur som uppstår under kapningen.			

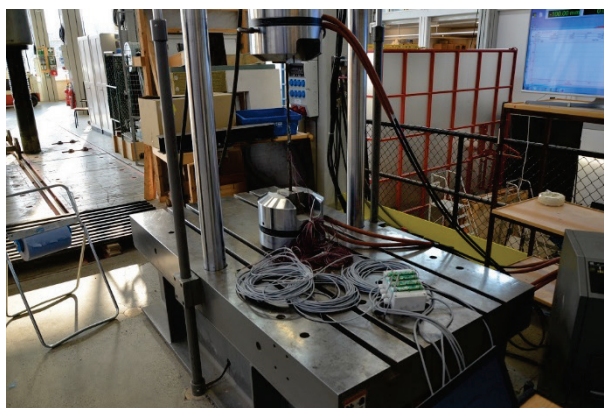
Figur 29 visar töjningarna i mätningställe I, som visar samma tendenser som i mätningställe II. Medelavlastningen i Lina 1 är $0,42 \cdot 10^4 \mu\text{m}/\text{m}$, Tabell 5.

**Figur 29** Töjningar i linor på mätningställe I.**Tabell 5** Mätvärden för olika givare före och efter kapning av linor på mätningställe I. Töjningarna är i $\mu\text{m}/\text{m}$.

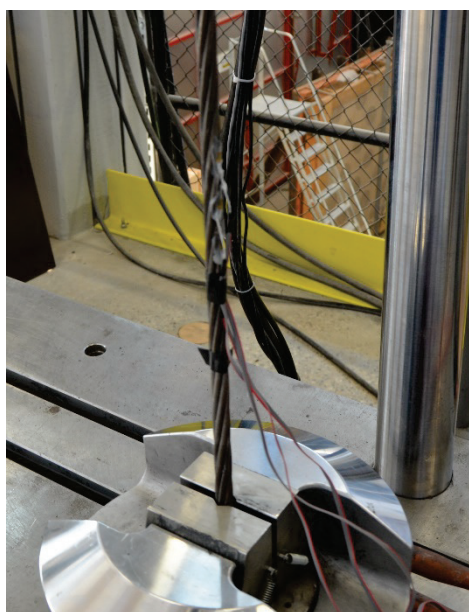
Mätställe	Före kapning	Efter kapning	Avlastning
Lina 1(v)	$1,47 \cdot 10^4$	$1,11 \cdot 10^4$	$0,42 \cdot 10^4$
Lina 1(h)	$1,30 \cdot 10^4$	$0,82 \cdot 10^4$	
Lina 2	$1,35 \cdot 10^4$	$1,16 \cdot 10^4$	$0,19 \cdot 10^4$
Temperatur	$9,0 \text{ }^\circ\text{C}$	$9,0 \text{ }^\circ\text{C}$	Max = $17,0 \text{ }^\circ\text{C}^*$
*) Med Max. temperatur menas den högsta temperatur som uppstår under kapningen.			

6.2 MÄTNINGAR I LABORATORIET

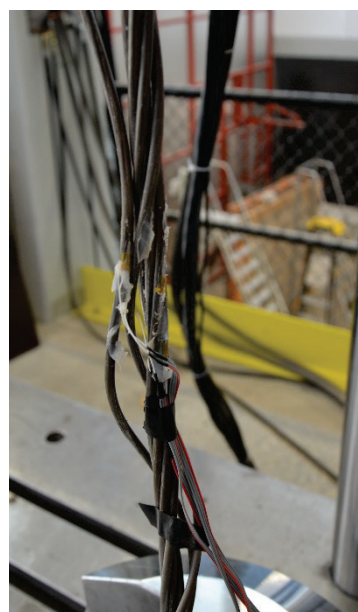
Den kapade delen av Lina 1 från mätställe II användes för dragprovning. Provningsen utfördes på Konstruktionstekniks laboratorium (LTH). Figur 30 visar placering av linan i provningsmaskinen. Figur 31 visar närbild av samma provkropp, där Figur 31a visar provkroppen före provning. De trådtöjningsgivare som är monterade på provkroppen är desamma som limmades i Barsebäck före kapningen. Figur 31b visar samma provkropp efter provning.



Figur 30 Placering av Lina 1 från mätställe II i provningsmaskin.



(a)



(b)

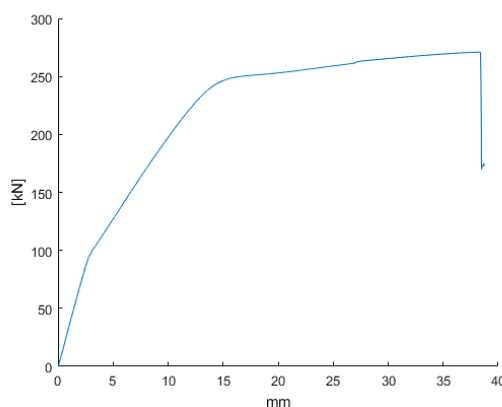
Figur 31 Placering av Lina 1 från mätställe II i provningsmaskin (a) före provning, (b) efter provning.

Figur 32 visar linans last-deformationskurva. Deformationen mäts med i maskinen inbyggd lägesgivare. Deformationen kan inte användas för beräkning av linans töjning eftersom den inkluderar eventuella glidningar mellan linan och maskinens

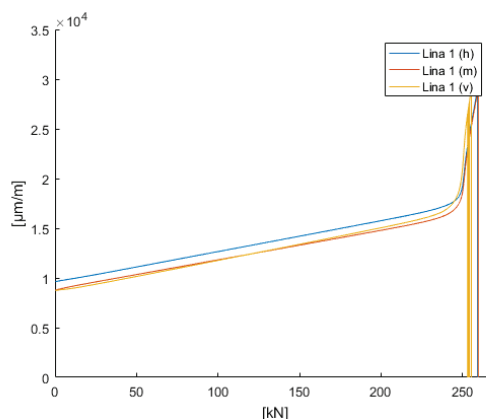
gripklor (infästningar) samt maskinens egna deformationer. Men flytlasten (230 kN) och brottlasten (270 kN) kan avläsas från diagrammet. Den knick på kurvan som är vid 94 kN har inget samband med materialets egenskaper. Den kan bero på glidning mellan linan och infästningsanordningen.

Figur 33 visar linans töjning som funktion av belastningen. Töjningsvärdet vid lasten noll bör vara lika med slutvärdet enligt Figur 28. En del av avvikelserna kan bero på skillnaden mellan provkroppens temperatur vid kapnings- och provningstillfällena. Tabell 6 visar töjningarnas startvärden vid provning i laboratoriet, slutvärden vid fältmätning samt temperaturerna i laboratoriet och i fält, för Lina 1 från mättningsställe II. Som framgår av tabellen är temperatur differensen 12 °C. Med antagandet att stålets längdutvidgningskoefficient är 12 (µm/m)/°C blir töjningens ökning 144 µm/m. Medeldifferensen mellan laboratoriets startvärde för töjning och fältets slutvärde för töjning är 800 µm/m, d.v.s. ca 20 % av avvikelserna kan hänföras till temperaturökningen i labbet. Anledningen till den resterande delen av avvikelsen inte är känd men kan bl.a. bero på eventuella förändringar i trådtöjningsgivarerna eller limmet. Den kan inte bero på relaxation i stålet. Stålets relaxation sänker töjningen. Vidare är det inte utrett hur inspänning i provningsmaskinen påverkar töjningarna i de enskilda trådarna.

Som framgår av Figur 33 råder ett linjärt samband mellan töjning och belastning upp till töjningen $1,65 \cdot 10^4$ µm/m som motsvarar ca 230 kN. Därefter är sambandet icke linjärt, vilket beror på att tråden flyter. Vid 230 kN är respektive 270 kN uppnås linans flyt- respektive brottgräns. Lutningen hos den linjära delen är ca 30 (µm/m)/kN.



Figur 32 Last-deformationskurva för Lina 1, mättningsställe II.



Figur 33 Töjnings-lastkurva för Lina 1, mättningsställe II.

Tabell 6 Töjningarnas startvärden vid provning i laboratoriet, slutvärden vid fältmätning samt temperaturerna i laboratoriet och i fält, för Lina 1 från mättningsställe II. Töjningarna är i $\mu\text{m/m}$.

Mät punkt	Startvärde (lab)	Slutvärde (fält)	Differens
Lina 1(v)	$0,97 \cdot 10^4$	$0,91 \cdot 10^4$	$0,06 \cdot 10^4$
Lina 1(m)	$0,88 \cdot 10^4$	$0,77 \cdot 10^4$	$0,11 \cdot 10^4$
Lina 1 (h)	$0,88 \cdot 10^4$	$0,80 \cdot 10^4$	$0,08 \cdot 10^4$
Medelvärde	$0,91 \cdot 10^4$	$0,83 \cdot 10^4$	$0,08 \cdot 10^4$
Temperatur	21 °C – 22 °C	9,6 °C	12 °C

6.3 ANALYS

I avsnitt 6.1 visades att medelavlastningar mellan $0,39 \cdot 10^4$ och $0,56 \cdot 10^4$ kan uppstå i Lina 1. Med förutsättningen att avlastningen respektive elasticitetsmodulen är $0,50 \cdot 10^4 \mu\text{m/m}$ respektive 195 GPa beräknas spänning (σ_{pt}) och spännkraft (F_{pt}) i en lina enligt nedan:

$$\sigma_{pt} = \varepsilon \cdot E = (0,50 \cdot 10^4 \cdot 10^{-6}) \cdot (195 \cdot 10^3) = 975 \text{ MPa} \quad (1)$$

$$F_{pt} = \sigma_{pt} \cdot A_p = (975) \cdot (140 \cdot 10^{-3}) = 136,5 \text{ kN} \quad (2)$$

där är E och A_p enligt avsnitt 2.2.3

Lutningen hos den linjära delen av sambandet mellan töjning och belastning i Figur 33 är $30 (\mu\text{m/m})/\text{kN}$. Förändring av töjning motsvarande $0,5 \cdot 10^4 \mu\text{m/m}$ medför en kraftändring på ca 167 kN. Denna kraftändring bör jämföras med den kraft som framgår av Ekvation (2). Jämförelsen visar att det råder god överenskommelse mellan mätningar i fält och i laboratoriet. Noggrannheten är dock lågt men den kan förbättras. En felkälla i detta sammanhang kan vara linans tvärsnittsytta och elasticitetsmodul.

7 Diskussioner och slutsatser

Resultatet av detta arbete visar att

1. Det är möjligt att bila fram foderrör och linor. Det krävs dock mycket vatten och för att minska vattenbehovet bör mätningställena sömborras före vattenbilningen. Vattnet bör samlas i containrar och tas om hand utanför kärnkraftverket.
2. Det är svårt att identifiera en vald lina längs med ett foderrör. En metod bör utvecklas för att minska osäkerheten.
3. Det går att limma trådtöjningsgivare på enskilda trådar för mätning av avlastning vid kapning av linorna. Det finns inte tillräcklig med data för att bestämma den spridning som kan finnas mellan spänningar i olika trådar i samma lina och mellan olika linor. Resultaten tyder dock att spridningen inte så stor inom samma lina.
4. Det är svårt att montera en LVDT på en lina för mätning av linas medeltöjning. Metoden bör utvecklas åtminstone för tillämpning i laboratoriet. Anledningen är att det är svårt att avgöra om den medeltöjning som bestäms genom medelvärde av några trådtöjningsgivare motsvarar linans medeltöjning eller inte.
5. Genom laboratorieprovningar bör man utreda mätmetodens felkällor och spridning av mätvärden.
6. Det råder god överensstämmelse mellan mätning av avlastning på fält och mätning av pålastning i laboratoriet. I de provningar som redovisas i denna rapport är linan styvare i laboratorieprovning jämfört med fältprovning. Anledningen bör utredas.
7. Avlastningen fortplantas inte längs med en lina utan den fördelas via injektionsbruket och betongen i konstruktionen. Mätpunkter som var placerade ca 4 m (3 m orörd betong) från kapningspunkten påverkades inte av kapningen. Spänningarna överfördes inte heller till intilliggande linor.
8. När det gäller Lina 1, som var mätningarnas huvudlina, mättes följande avlastningar
 - a. 1090 MPa ($0,56 \cdot 10^4 \mu\text{m/m}$) i mätningställe III (närmast pilaster)
 - b. 760 MPa ($0,39 \cdot 10^4 \mu\text{m/m}$) i mätningställe II
 - c. 820 MPa ($0,42 \cdot 10^4 \mu\text{m/m}$) i mätningställe I (längst bort från pilaster)

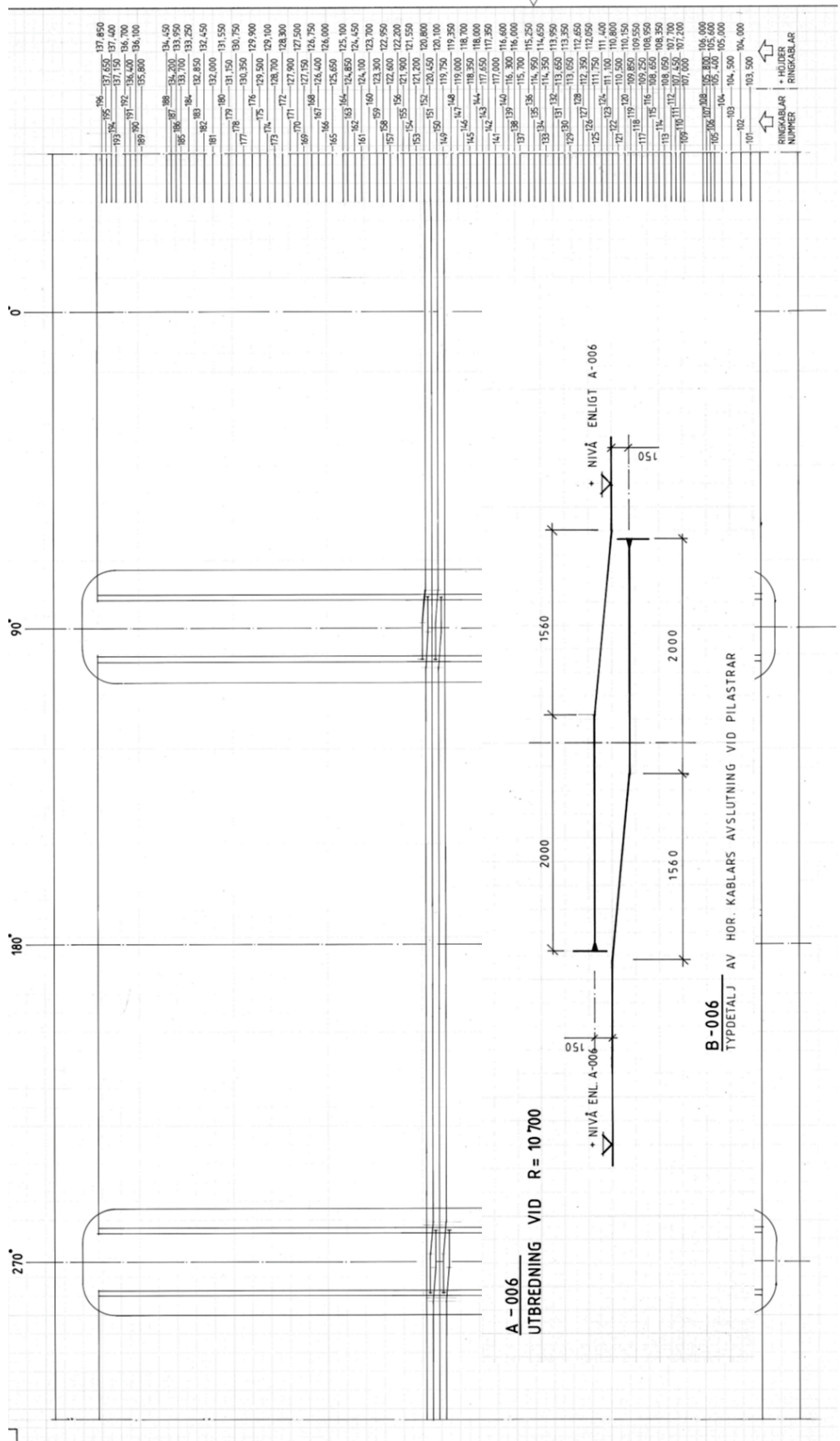
Medelvärde respektive standardavvikelsen är 890 MPa respektive 175 MPa. Teoretiskt ska spänningarna minska från mätningställe III mot I på grund av friktionsförlusten. Men avverkning av betongen kan ha påverkat spänningarna eftersom linorna trycks mot centrum av cylindern. När betongen bilas bort så förändras spänningarna. Inverkan av vattenbilning på spänningarna har inte analyserats. Vidare finns för närvarande ingen information om de ursprungliga spännkrafterna.

8 Referenser

- [1] Hassanzadeh, M. (2016). Tests and analysis to determine residual stress in post-tensioned grouted tendons. Stockholm, Sweden: Energiforsk (ej publicerad).
- [2] Hassanzadeh, M. (2017). Metodik och provningsplan för spännkablar - En förstudie för reaktorinneslutning i Barsebäck. Stockholm, Sweden: Energiforsk (ej publicerad).
- [3] Hassanzadeh, M. (2018). Provningar av Barsebäcks betongkonstruktioner - Reaktorinneslutningens betong, slak- och spännarmering – Detaljplanering, provningsplan, utförande och kostnadsförslag. Stockholm, Sweden: Energiforsk (ej publicerad).
- [4] VSL Post-tensioning solutions http://www.vsl.com/download.php?brochure_cat=post-tensioning-strand-systems&getfile=vsl-post-tensioning-solutions.pdf

[illegible]







1.3 - STRAND PROPERTIES 15mm (0.6")

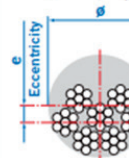
Strand type			prEN 10138 – 3 (2006) Y1860S7		ASTM A 416-06 Grade 270
Nominal diameter	d	(mm)	15.3	15.7	15.24
Nominal cross section	A _p	(mm ²)	140	150	140
Nominal mass	M	(kg/m)	1.093	1.172	1.102
Nominal yield strength	f _{p0.1k}	(MPa)	1636 ¹	1640 ¹	1676 ²
Nominal tensile strength	f _{pk}	(MPa)	1860	1860	1860
Specif./min. breaking load	F _{pk}	(kN)	260	279	260.7
Young's modulus		(GPa)		approx. 195	
Relaxation ³ after 1000 h at 20°C and 0.7 x F _{pk}		(%)		max. 2.5	

1) Characteristic value measured at 0.1% permanent extension

2) Minimum load at 1% extension for low-relaxation strand

3) Valid for relaxation class acc. to prEN 10138-3 or low-relaxation grade acc. to ASTM A 416-06

1.4 - TENDON PROPERTIES 15mm (0.6")

Unit	Strands numbers	Steel area		Breaking load			Corrugated steel duct ³ (recommended)		Corrugated plastic duct VSL PT-PLUS®		Steel pipes	
		A _p acc. to prEN		ASTM	Y1860S7 (prEN)		Grade 270 (ASTM)	Ø _i / Ø _e	e	Ø _i / Ø _e	e	Ø ext. x t
		d=15.3 mm A _p =140 mm ²	d=15.7 mm A _p =150 mm ²	d=15.24 mm A _p =140 mm ²	d=15.3 mm A _p =140 mm ²	d=15.7 mm A _p =150 mm ²	d=15.24 mm A _p =140 mm ²					
		[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]
	14	1960	2100	1960	3640	3906	3650	80/87	11	100/106	24	
6-15	15	2100	2250	2100	3900	4185	3911	80/87	10	100/106	23	101.6 x 3.0/4.0/5.0
6-19	16	2240	2400	2240	4160	4464	4171	85/92	12	100/106	22	101.6 x 3.0/4.0/5.0
	17	2380	2550	2380	4420	4743	4432	85/92	11	100/106	20	
	18	2520	2700	2520	4680	5022	4693	90/97	13	100/106	19	
6-19	19	2660	2850	2660	4940	5301	4953	90/97	12	100/106	18	101.6 x 3.0/4.0/5.0

PROVNINGAR I BARSEBÄCKS FILTRA

Kärnkraftverkens inneslutningar är av säkerhetsskäl försedda med förspända spännkablar. För att skydda kablarna mot korrosion kan de gjutas in, men det medför att den kvarvarande spännkraften inte kan mätas utan att det görs en förstörande provning.

Betongtekniskt program kärnkraft har startat ett arbete i flera etapper med för att genomföra en förstörande provning av den kvarvarande spännkraften i reaktorinneslutningen i det nedlagda kärnkraftverket Barsebäck. Här har metoder för att identifiera, frilägga, instrumentera och kapa spännkablar testats i en spännarmerad filterbyggnad som står utomhus på Barsebäck. Resultaten visar att de metoder som utarbetats fungerar och att det, efter att några praktiska utmaningar har lösts, är möjligt att gå vidare och i nästa steg genomföra tester på reaktorinneslutningen.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se



Energiforsk