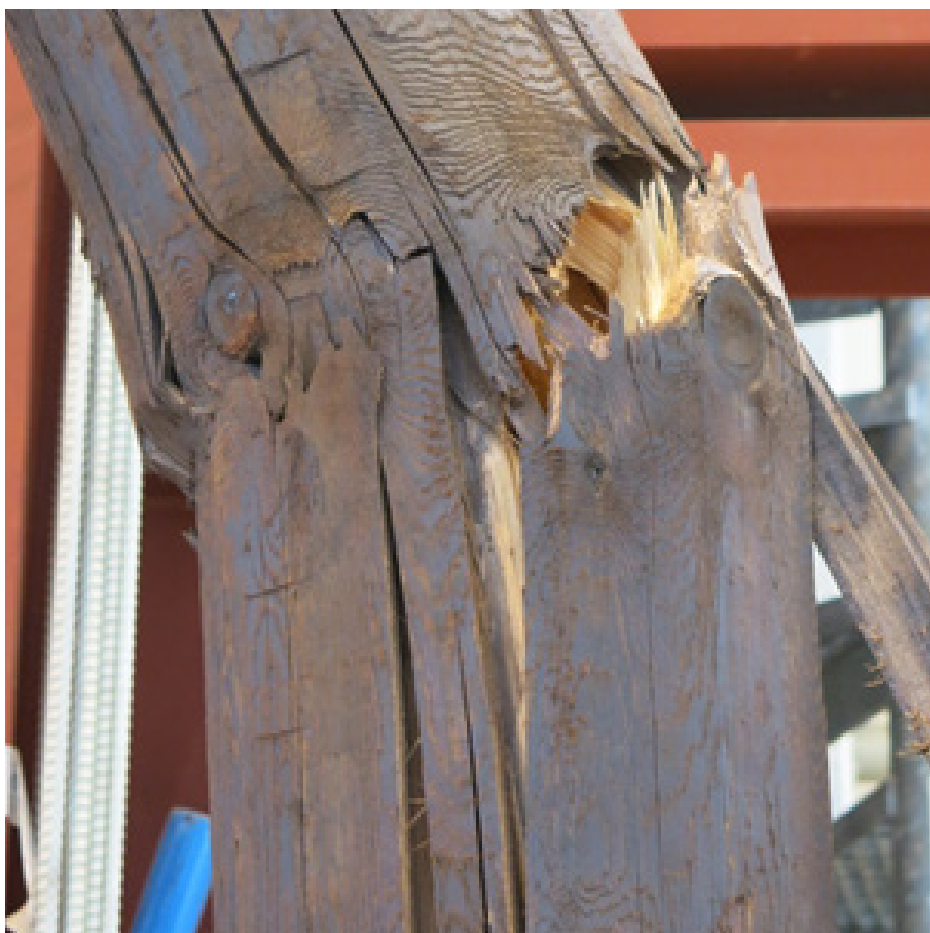


ALTERNATIVA STOLPMATERIAL

RAPPORT 2015:163



Alternativa stolpmaterial

Utvärdering av hållfasthetsegenskaper

ERIK DARTFELDT, SP – SVERIGES TEKNISKA FORSKNINGSinSTITUT

ISBN 978-91-7673-163-5 © 2015 ENERGIFORSK

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

Förord

Den här rapporten är avsedd att visa en testmetod för kraftledningsstolpar av olika material. Avsikten har inte varit att testa olika fabrikat mot varandra. Flera fabrikat kan komma att testas framöver. Denna rapport är en öppen version, där fabrikaten är anonymiserade. Även andra aspekter ska i framtiden tas med, om de anses vara avgörande för provningen. I rapporten är det menat att det är systematiken, inte fabrikaten, som är viktiga.

Rapporten är ett resultat av det samlade ramprogrammet för Underhåll, Diagnostik och Reinvesteringsstrategi som startades av Elforsk under 2010.

Målsättning med ramprogrammet är att:

- *identifiera utvecklingsinsatser för det strategiska reinvesterings- och underhållsarbetet som kan leda till förbättrad nätekonomi, samt att medverka till att dessa genomförs*
- *öka kunskapen om nya möjligheter med diagnostiska metoder för underhåll av elnät*
- *skapa möjligheter till att förbättra underhålllets styrning och planering*
- *sprida kunskap med syfte att höja kompetensnivån inom området*
- *vara en brygga mellan högskoleforskningens resultat och branschens möjliga applikationer*

De finansierande företagen i ramprogrammet är följande:

Svenska Kraftnät	Jönköping Energi Nät AB
Vattenfall Eldistribution AB	Gävle Energi AB
E.ON Elnät Sverige AB	Eskilstuna Energi & Miljö AB
Fortum Distribution	Sundsvall Elnät AB
ABB AB	Borås Elnät AB
Göteborgs Energi AB	Växjö Energi Elnät AB
Skellefteå Kraft Elnät AB	Borlänge Energi AB
Jämtkraft Elnät AB	Pite Energi AB
Umeå Energi Elnät AB	Mälarenergi AB

Ramprogrammets styrgrupp består av följande personer vid programmets avslutning år 2015:

- Hans-Erik Carlsson E.ON Elnät Sverige AB, ordförande
- Rikard Persson Svenska Kraftnät
- David Håkansson Borås Elnät AB
- Mats-Erik Jansson, Jämtkraft Elnät AB
- Torbjörn Jernström Vattenfall Eldistribution AB
- Catarina Naucér Fortum Distribution
- Ferruccio Vuinovich, Göteborgs Energi Nät AB
- Johan Fält Mälarenergi AB
- Christian Gruber Svensk Energi
- Reyna Lind, Sundsvall Elnät AB
- Sven Jansson Energiforsk AB, programansvarig

Sammanfattning

I denna rapport presenteras resultaten från den studie som Energiforsk har gett SP – Sveriges tekniska forskningsinstitut i uppdrag att genomföra. Syftet med studien är att ta fram hållfasthetsegenskaperna för fyra olika elstolpar av typ G12. Bakgrunden till studien är, bland annat, det förbud mot användning av kreosot som impregneringsmedel som diskuteras.

Stolpar från fyra olika leverantörer ingår i studien. En kreosotimpregnerad trästolpe från Fabrikat 1 ingår som referens. Därutöver ingår en kompositstolpe från Fabrikat 2, en fanerstolpe från Fabrikat 3 samt en stålstolpe från Fabrikat 4. I studien jämförs resultaten för de tre utmanarna med referensen för att på så vis kunna utröna huruvida de tre utmanarna kan utgöra fullgoda ersättare till referensen.

Stolparna genomgår först tre renodlade lastfall (knäckning, böjning samt vridning) för att sedan testas då de belastas med dessa tre laster samtidigt (kombinerat lastfall). För varje stolptyp genomförs varje lastfall fem gånger för att få en uppfattning om den statistiska spridningen i de uppmätta egenskaperna. Totalt redovisas således resultat från 80 prov i denna rapport.

Sammantaget visar studien att det endast är Fabrikat 4s stolpar som genomgående uppvisar bättre resultat än referensstolparna från Fabrikat 1. Resultaten för kompositstolparna från Fabrikat 2 hamnar generellt sett inom intervallet av uppmätta värden för stolparna från Fabrikat 1. I vridprovet får dock Fabrikat 2 avsevärt bättre resultat än Fabrikat 1. Fanerstolparna från Fabrikat 3 uppvisar bättre resultat än Fabrikat 1 i knäckprovet och vridprovet men får genomgående sämre resultat än Fabrikat 1 i böjprovet. I det kombinerade lastfallet uppvisar Fabrikat 3 resultat i paritet med Fabrikat 1.

Summary

SP – Technical Research Institute of Sweden has been commissioned by Energiforsk to investigate the mechanical properties of distribution poles of type G12. The study is conducted, partly, due to the ongoing investigations of whether or not the continued use of creosote as an impregnating agent will be allowed.

Poles from four manufacturers are investigated in the study. A creosote-impregnated wooden pole serves as the reference. The identified mechanical properties of the three remaining poles are compared to the reference pole as a means to establish whether or not they can be used as an adequate replacement for the wooden pole.

Four different load cases are considered: buckling (axial compression), bending, torsion and a combined load case. Each configuration (unique combination of load case and pole type) is tested five times to increase the understanding of the statistical variation of the sought mechanical properties.

Only the steel pole from Fabrikat 4 outperforms the wooden pole in all aspects of the study. The composite poles from Fabrikat 2 shows results in parity with the reference pole, however with better torsion properties compared to the reference. In the torsion test and in the buckling test, the veneer poles from Fabrikat 3 display better results than the corresponding values of the reference. However, in the bending test the results are worse than the reference. In the combined test, the obtained values for Fabrikat 3 are similar to the reference.

Innehåll

1	Inledning	8
1.1	Bakgrund	8
1.2	Mål med studien	8
1.3	Avgränsningar	9
1.4	Projektorganisation	9
1.5	Stolptyper	9
1.5.1	Fabrikat 1 (referens)	10
1.5.2	Fabrikat 2	10
1.5.3	Fabrikat 3	10
1.5.4	Fabrikat 4	10
2	Metod	11
2.1	Stolpdimensioner	11
2.2	Fuktkvot	11
2.3	Lastfall	12
2.3.1	Knäckning	12
2.3.2	Böjning	12
2.3.3	Vridning	13
2.3.4	Kombinerat lastfall	14
2.4	Belastningskapacitet	14
3	Resultat	15
3.1	Stolpdimensioner	15
3.1.1	Fabrikat 1	15
3.1.2	Fabrikat 2	16
3.1.3	Fabrikat 3	17
3.1.4	Fabrikat 4	18
3.2	Fuktkvot	19
3.2.1	Fabrikat 1	19
3.2.2	Fabrikat 3	20
3.3	Knäckning	21
3.3.1	Fabrikat 1	21
3.3.2	Fabrikat 2	22
3.3.3	Fabrikat 3	23
3.3.4	Fabrikat 4	24
3.3.5	Sammanfattning	25
3.4	Böjning	27
3.4.1	Fabrikat 1	27
3.4.2	Fabrikat 2	28
3.4.3	Fabrikat 3	30
3.4.4	Fabrikat 4	31

3.4.5	Sammanfattning och jämförelse	33
3.5	Vridning	34
3.5.1	Fabrikat 1	34
3.5.2	Fabrikat 2	35
3.5.3	Fabrikat 3	35
3.5.4	Fabrikat 4	36
3.5.5	Sammanfattning	37
3.6	Kombinerat lastfall	39
3.6.1	Fabrikat 1	39
3.6.2	Fabrikat 2	40
3.6.3	Fabrikat 3	41
3.6.4	Fabrikat 4	43
3.6.5	Sammanfattning	44
3.7	Belastningskapacitet	46
3.7.1	Fabrikat 1	47
3.7.2	Fabrikat 2	47
3.7.3	Fabrikat 3	48
3.7.4	Fabrikat 4	49
3.7.5	Sammanfattning	49
4	Slutsatser och rekommendationer	51
5	Referenser	53

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Kreosot används idag för att impregnera bland annat järnvägssliprar, el- och telefonstolpar. Mot bakgrund av det förbud [1] mot användning av kreosot som impregneringsmedel som diskuteras har produkter av alternativa material börjat nå fram till marknaden. Den Europeiska kommissionen meddelade 2011 att användningen av kreosot som impregneringsmedel kommer vara tillåtet, under vissa förutsättningar, fram till och med den 1 maj 2018 [2].

Elforsk (numera Energiforsk) gav under 2014 SP - Sveriges Tekniska Forskningsinstitut i uppdrag att ta fram en generell process för kvalitetssäkring av olika typer av material som används inom eldistributionsbranschen. Förstudien utmynnade i en generell mall [3] som syftar till att skapa en samsyn mellan köpare, leverantörer och tillverkare av eldistributionsmateriel för att säkerställa att den materiel som byggs in i elnätet håller rätt kvalitet och funktion. Inom förstudien tillämpades sedan mallen på elstolpar av trä vilket resulterade i en rapport [4] som beskriver arbetet med att kvalitetssäkra elstolpar av trämaterial.

Förstudien belyser den mångfald av aspekter som behöver beaktas vid en utvärdering av elstolpar. En viktig aspekt är det faktum att stolparna förväntas ha fullgod funktion under mycket lång tid (ofta mellan 40-80 år). Detta trots att stolparna utsätts för många faktorer som kan förväntas påverka livslängden såsom till exempel solljus, temperaturvariationer, fukt samt naturligtvis ett antal olika mekaniska laster som verkar på stolpen.

En annan del av förstudien var att arbeta fram ett underlag för att kunna offerera en utvärdering av just dessa mekaniska egenskaper. Den resulterande offerten [5] ligger till grund för det arbete som presenteras i denna rapport.

1.2 MÅL MED STUDIEN

Målet med denna studie är att utvärdera, utifrån ett hållfasthetsperspektiv, ett antal alternativ till den kreosotimpregnerade trästolpe som utgör referens i studien. Utöver denna trästolpe (från Fabrikat 1) provas en kompositstolpe från Fabrikat 2, en fanerstolpe från Fabrikat 3 samt en stålstolpe från Fabrikat 4. Förenklat uttryckt syftar studien till att besvara hur de tre utmanarnas hållfasthetsegenskaper står sig i förhållande till den kreosotimpregnerade trästolpen som står som referens.

I studien ingår tre renodlade lastfall (knäckning, böjning samt vridning) som sedan kombineras till ett fjärde lastfall där stolparna samtidigt belastas med en axiell last samt ett böjande och ett vridande moment. Varje lastfall genomförs fem gånger för varje stolptyp för att ge en uppfattning om den statistiska spridningen i stolparnas egenskaper.

På längre sikt kan studien utgöra ett underlag för att kunna etablera en generell provningsmetodik som eventuellt skulle kunna utgöra en del i ett oberoende certifieringsförfarande.

1.3 AVGRÄNSNINGAR

De resultat som presenteras i denna rapport är framtagna utifrån de metoder som finns beskrivna i kapitel 2. Studien är genomförd med ett antal avgränsningar vilka diskuteras nedan.

De stolpar som har provats är fabriksnya vilket innebär att studien inte tar hänsyn till några åldringsaspekter.

All provning sker i rumstemperatur. Eventuella temperatureffekter såsom till exempel förspädning beaktas således inte.

De uppmätta egenskaperna hos trästolparna från Fabrikat 1 samt fanerstolparna från Fabrikat 3 är beroende av mängden fukt som finns lagrad i materialet (fuktkvot). På grund av svårigheterna att konditionera [6] stolparna provas de i det tillstånd de har när de anländer från den lagringsplats (Borås Elnäts mellanlagring) som har använts under studien. För varje genomfört prov har dock fuktkvoten mätts.

Vid en oberoende tredjepartsgranskning av en produkt förordas det, i många fall, att det granskande organet ska stå för urvalet av provkroppar. I denna studie har tillverkarna själva stått för urvalet av stolpar. Tillverkarna har även varit informerade om att stolparna skulle komma att ingå i denna studie.

1.4 PROJEKTORGANISATION

Nedan listas de personer som har varit inblandade i denna studie.

Tabell 1: Projektorganisation

Namn	Organisation	Roll
Sven Jansson	Energiforsk	Projektledare Energiforsk
Mats-Erik Jansson	Jämtkraft	Ordförande EBR materialgrupp
Leif Andersson	Ingenjörfirman Leif Andersson	Teknisk rådgivning
Erik Dartfeldt	SP – Sveriges Tekniska Forskningsinstitut	Teknisk projektledare, SP
Per-Arne Thuresson	SP – Sveriges Tekniska Forskningsinstitut	Provningskoordinator Provningstekniker
Bertil Svensson	SP – Sveriges Tekniska Forskningsinstitut	Provningstekniker

1.5 STOLPTYPER

De stolpar som ingår i studien beskrivs kortfattat nedan. Uppgifterna som redovisas nedan kommer från stolptillverkarna. Samtliga av de provade stolparna är av typ G12 och har en längd om 12 m.

1.5.1 Fabrikat 1 (referens)

Nedanstående egenskaper för Fabrikat 1s trästolpar återfinns på grossisten Onninens hemsida [7]:

- Följer EBR IN 063
- Vikt: cirka 385 kg
- Toppdiameter: 170-210 mm
- Jordbandsdiameter: 270 mm

1.5.2 Fabrikat 2

Nedanstående egenskaper är hämtade från Fabrikat 2s hemsida [8]:

- Vikt: 250 kg
- Diameter, från rot och 2 m upp: 271 mm
- Diameter, från topp och 3 m ner: 266 mm
- Konstruktion: kärna av glasfiberarmerad polyester täckt av ett skal av solid polyeten (tjocklek 3-4 mm)

1.5.3 Fabrikat 3

Nedanstående egenskaper är hämtade från Fabrikat 3s hemsida [9]:

- Vikt: 250 kg
- Ytterdiameter: 280 mm (konstant)
- Godstjocklek: 44 mm
- Konstruktion: Skiktlimmad (MUF-lim) stolpe av granfanér

1.5.4 Fabrikat 4

Nedanstående egenskaper har kommunicerats till SP via epost:

- Jordbandsdiameter: 333 mm
- Toppdiameter: 176 mm
- Godstjocklek: 3 mm
- Stålkvalitet: S355

2 Metod

Nedan beskrivs de metoder som har använts vid framtagningen av de resultat som redovisas i denna rapport. De avgränsningar som gäller för studien finns beskrivna i kapitel 1.3.

2.1 STOLPDIMENSIONER

En viktig parameter vad gäller de redovisade resultaten är hur stolparna är konstruerade och dimensionerade. Mot den bakgrunden har ett antal av de provade stolparna mätts upp. De uppmätta stolpdimensionerna redovisas i kapitel 3.1.

2.2 FUKTKVOT

Eftersom att stolparna från Fabrikat 1 och Fabrikat 3 båda är gjorda av trämaterial kommer deras fuktkvoter att mätas. Anledningen till detta är att trä är ett hygroskopiskt material, dvs. ett material som kan ta upp och avge fukt vilket i sin tur påverkar materialets mekaniska egenskaper. Fuktkvoten definieras enligt nedanstående ekvation.

$$Fuktkvot = \frac{\text{Vattnets massa i provad träbit}}{\text{Massa av torkad träbit}}$$

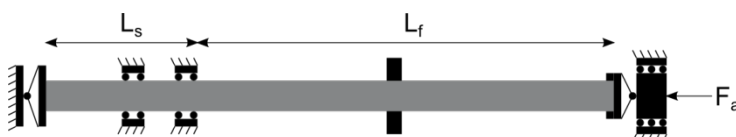
För stolparna från Fabrikat 1 så gäller att de mekaniska egenskaperna generellt sett försämrats upp till den så kallade fibermättnadspunkten vilken inträffar vid en fuktkvot på cirka 30 %. För att resultaten ska vara konservativa är det därför önskvärt att de provade stolparna har en fuktkvot som ligger nära fibermättnadspunkten. För varje stolpe sågas en skiva ut i närheten av brottet. Från denna skiva mäts fuktkvoten på tre ställen i det yttre skiktet (splintveden) samt i mitten av skivan (kärnved).

Även för Fabrikat 3s stolpar är det rimligt att förvänta sig att deras mekaniska egenskaper påverkas av mängden fukt men det faktum att stolparna är uppbyggda av ihoplimmade fanérsikt påverkar sannolikt detta fenomen. Efter genomfört prov borras en provbit ut i närheten av brottet. Fuktkvoten mäts sedan för denna provbit.

2.3 LASTFALL

2.3.1 Knäckning

I knäckprovet testas stolparnas förmåga att bära axiell (i stolpens längsriktning) last. Syftet med provet är att avgöra vid vilken last som knäckning alternativt krossning av stolpen (eller dess fogar etc.) inträffar. Knäckningen kan antingen ge upphov till en permanent deformation (buckling) av stolpen eller leda till elastisk knäckning varvid stolpen återgår till sin ursprungliga form då den avlastas.



Figur 1: Schematisk figur (ej skalenlig) som visar realiseringen av knäckprovet. I rotändan är stolpen fast inspänd medan toppen har en glidledad inspänning. Stolpen vilar på ett stöd med lågfriktionsbeläggning i mitten av den fria längden.

Knäcklastfallet har genomförts i enlighet med det knäcklastfall som betecknas Euler 3 [10], dvs. med fast inspänd rotände samt glidledad inspänning i toppen av stolpen. Den provuppställning som använts beskrivs schematiskt i Figur 1. För att bära upp stolpens tyngd vilar stolpen på ett stöd med lågfriktionsbeläggning i mitten på den fria längden av stolpen. Detta lastfall motsvarar knäckning i det plan som spänns upp av stolpens lodlinje och luftledningarnas utsträckningslinje. Under provet styrs den axiella deformationen (konstant deformationshastighet) medan den axiella lasten (betecknad F_a) mäts. Provet fortgår till dess att en tydlig minskning av den axiella kraften kan observeras. Provningsen har genomförts med de mått som listas i Tabell 2.

Tabell 2: Dimensioner som använts vid realiseringen av knäcklastfallet.

L_s [m]	L_f [m]
2	10

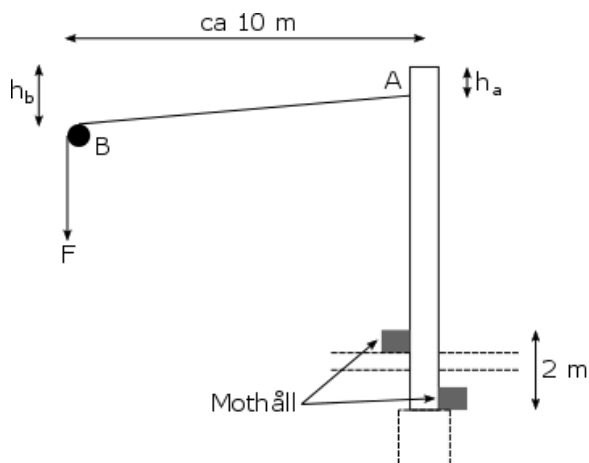
Resultatet av detta prov kan användas för att avgöra om den axiella last som stolpen bär (tyngd av elkablar inklusive eventuell is- eller snölast, regler, montör, etc.) kan medföra risk för knäckning. Resultaten från de genomförda knäckproven redovisas i kapitel 3.3 tillsammans med bilder som visar den faktiska provuppställningen samt utfallen från proven.

2.3.2 Böjning

I böjprovet testas stolparnas förmåga att bära en böjande last. En sådan last kan inträffa om de linkrafter som angriper i stolptoppen inte är i balans (exempelvis vid linbrott) alternativt på grund av vindlast.

Provet genomförs genom att med hjälp av en vajer kopplad till en vinsch (telfer) anbringa en kraft, vinkelrätt mot stolpen i toppen av stolpen. Lasten ökas succesivt till dess att stolpen går sönder. Under provet mäts linkraften samt stolptoppens förskjutning. En schematisk skiss av provuppställningen visas i Figur 2. Vajern löper över en trissa i punkten B som medvetet flyttats ned något i förhållande till punkten A för att på så vis få en så horisontell kraft som möjligt vid brottögonblicket. Angreppspunkten är positionerad så att $h_a=0,16$ m.

Beräkningen av det resulterande böjmomentet i jordbandet är approximativ då den bygger på antagandet att linkraften är horisontell samt att ingen hänsyn tas till stolpens vertikala förskjutning.

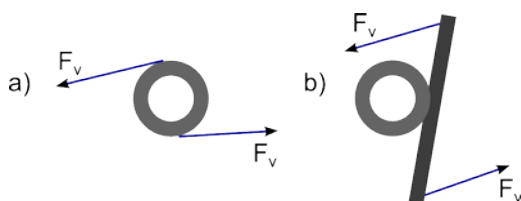


Figur 2: Schematisk (ej skalenlig) beskrivning av böjprovet.

2.3.3 Vridning

I vridprovet belastas de undersökta stolparna av ett rent vridande moment. Syftet med provet är att ta reda på hur mycket vridande belastning som stolparna tål. En sådan belastning kan uppstå till exempel om ett eller flera linbrott inträffar på ett sätt som gör att linkrafterna skapar ett vridande moment kring stolpens lodlinje.

Vridprovet genomförs genom att i toppen av stolpen belasta stolpen med ett kraftpar som ger upphov till ett rent vridmoment (kraftsumman är noll). I toppen av stolpen används ett stöd som låter stolpen rotera fritt men som har möjlighet att ta upp eventuella obalanskrafter från kraftparet. I rotändan används ett stöd som med hjälp av friktion förhindrar stolpen från att rotera. Under provets gång ökas det vridande momentet till dess att ett vridbrott inträffar alternativt till dess att provriggens maxkapacitet är nådd. En vinkelgivare används för att mäta stolpens vridning som funktion av vridmomentet.



Figur 3: Schematisk skiss av vridprovet. Uppställning a) används vid provningen av stolparna från Fabrikat 1, Fabrikat 3 samt Fabrikat 2. En modifierad uppställning b) används för stolpen från Fabrikat 4.

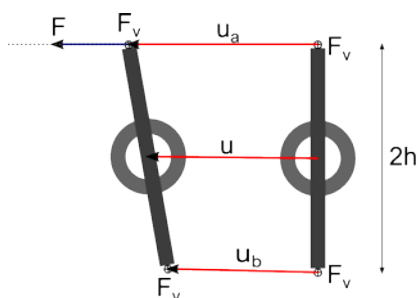
Den använda provuppställningen visas schematiskt i Figur 3. En något modifierad variant (betecknad b) i figuren ovan) används vid provningen av stolpen från Fabrikat 4 på grund av att variant a) bygger på att vridmomentet kan överföras via ett friktionsförband till stolpen vilket inte är möjligt för Fabrikat 4s stålstolpe.

Resultatet från vridprovet kan användas för att avgöra huruvida de olika stolparna har tillräckligt hög vridhållfasthet för att klara av de vridande laster som kan förväntas verka på stolpen under dess livscykel.

2.3.4 Kombinerat lastfall

I det kombinerade lastfallet undersöks de olika stolparnas belastningskapacitet när de samtidigt utsätts för ett böjande och ett vridande moment samt en axiell last. Syftet med lastfallet är dels att se huruvida utfallet kan förutsägas baserat på lärdomarna från de tidigare lastfallen med endast en lastkomponent dels att prova stolparna i ett lastfall som liknar en mera verklig lastsituation som stolparna kan förväntas utsättas för i drift.

Proven genomförs genom att en balk monteras i toppen på stolpen. I vardera ände av denna balk hängs en tyngd om 750 kg upp. Linkraften F angriper i ena änden av balken på så sätt att så att en vridande hävarm om $h = 0,5$ m samt en böjande hävarm om $L_f = 10$ m åstadkoms. Detta innebär att när linkraften ökar så ökar det böjande momentet och det vridande momentet proportionerligt (inledningsvis med ett förhållande 1:20). Den vridande hävarmen ändras då stolpen vrider sig. Dessutom kommer de vertikala lasterna F_v ge ett bidrag till det böjande momentet då stolpen böjer ut. Provuppställningen visas schematiskt i Figur 4. I övrigt är stolpen inspänd i rotänden på samma sätt som i böjprovet.



Figur 4: Schematisk beskrivning av det kombinerade lastfallet (vy från ovan).

Vridningsvinkeln α beräknas utifrån de uppmätta förskjutningarna u_a och u_b . Beräkningen är dock approximativ i den bemärkelsen att ingen hänsyn tas till den vertikala komponenten av utböjningen. Detta motiveras dels genom att det är komplicerat att mäta förskjutningar i tre dimensioner, givet provuppställningens utformning samt de förväntade deformationerna, dels av att den vertikala komponenten är väsentligt mindre än motsvarande komponenter i horisontalplanet.

2.4 BELASTNINGSKAPACITET

Upplägget på denna studie är sådant att varje stolptyp först genomgår tre renodlade lastfall (knäckning, böjning, vridning) för att sedan genomgå ett lastfall där dessa tre laster kombineras. På så vis ges en möjlighet att dra slutsatser om vilken inverkan de olika lasterna har på stolpens belastningskapacitet. Upplägget medför dessutom att belastningskapaciteten kan åskådliggöras som en tredimensionell yta som spänns upp av de tre belastningskomponenterna (axiell last, böjande last och vridande last).

3 Resultat

3.1 STOLPDIMENSIONER

Nedan redovisas de uppmätta stolpdimensionerna för respektive tillverkare.

3.1.1 Fabrikat 1

Nedan redovisas de uppmätta stolpdimensionerna för trästolparna från Fabrikat 1.

Tabell 3: Uppmätt omkrets för stolparna från Fabrikat 1.

Lastfall	Prov	Position [m]	Omkrets [mm]
Kombinerat	K11	0	1020
		2	905
		12	550
Kombinerat	K12	0	1040
		2	885
		12	695
Kombinerat	K13	0	970
		2	860
		12	620
Kombinerat	K14	0	978
		2	885
		12	587
Kombinerat	K15	0	1045
		2	952
		12	572

3.1.2 Fabrikat 2

Nedan redovisas de uppmätta stolpdimensionerna för kompositstolparna från Fabrikat 2.

Endast det inre lastbärande kompositröret har mätts i termer av dess innerdiameter samt rörets godstjocklek.

Tabell 4: Uppmätta stolpdimensioner för stolparna från Fabrikat 2.

Lastfall	Prov	Position [m]	Innerdiameter [mm]	Godstjocklek [mm]
Vrid	VR07	0	239,5	11,8
		2	238,9	12,3
		12	237,8	9,9
Vrid	VR08	0	239,2	11,4
		2	239,5	11,0
		12	239,8	9,4
Vrid	VR09	0	240,0	12,1
		2	239,1	11,9
		12	239,8	9,4
Vrid	VR10	0	239,1	11,6
		2	239,3	12,0
		12	239,6	9,6
Kombinerat	K01	0	239,3	11,2
		2	239,9	11,2
		12	239,9	9,7

3.1.3 Fabrikat 3

Nedan redovisas de uppmätta stolpdimensionerna för fanerstolparna från Fabrikat 3. De uppmätta värdena stämmer väl överens med de värden som presenterats i kapitel 1.5.3.

Tabell 5: Uppmätta stolpdimensioner för stolparna från Fabrikat 3.

Lastfall	Prov	Position [m]	Innerdiameter [mm]	Ytterdiameter [mm]
Kombi	K01	0	192	283
		12	192	282
Kombi	K02	0	193	282
		12	192	283
Kombi	K03	0	190	281
		12	191	282
Kombi	K04	0	190	280
		12	190	280
Kombi	K05	0	193	283
		12	196	286

3.1.4 Fabrikat 4

Nedan redovisas de uppmätta stolpdimensionerna för stålstolparna från Fabrikat 4.

Tabell 6: Uppmätta stolpdimensioner för stolparna från Fabrikat 4.

Lastfall	Prov	Position [m]	Omkrets [mm]	Tjocklek [mm]
Knäckning	KN17	0,6	1110	3,3
		2	1030	3,3
		10,5	600	3,3
Knäckning	KN21	0,6	1100	3,0
		2	1030	3,1
		10,5	600	3,1
Böjning	B16	0	1130	3,2
		2	1010	3,2
		10,5	600	3,1
Böjning	B18	0	1130	3,2
		2	1010	3,2
		10,5	600	3,1
Böjning	B19	0	1130	3,3
		2	1010	3,3
		10,5	600	3,3
Böjning	B20	0	1130	3,2
		2	1010	3,2
		10,5	600	3,2

3.2 FUKTKVOT

Nedan redovisas de uppmätta fuktkvoterna för de provade stolparna från Fabrikat 1 samt Fabrikat 3.

3.2.1 Fabrikat 1

De uppmätta fuktkvoterna för stolparna från Fabrikat 1 listas i Tabell 7.

Dessvärre saknas data för de två sista kombiproven men underlaget visar ändå att proven, generellt sett, har genomförts med fuktkvoter nära, eller över, fibermättnadspunkten. De resultat som erhållits bör därför vara konservativa.

Tabell 7: Uppmätt fuktkvot (i procent) för trästolparna från Fabrikat 1.

Lastfall	Prov	Splint 1	Splint 2	Splint 3	Kärna
Knäck	KN12	41,8	29,8	34	31,9
Knäck	KN13	55,9	44,7	59,4	40,5
Knäck	KN14	60,4	55,7	36,5	35,7
Knäck	KN15	65,4	75,7	34,2	33,1
Knäck	KN16	82,3	86,8	53,9	30,3
Böj	B11	22,7	26,9	24,9	33,1
Böj	B12	21	26,7	23,5	29,7
Böj	B13	23,7	35,2	23,9	33
Böj	B14	37,8	33,6	39,9	34,1
Böj	B15	37	30,4	36,3	32,7
Vrid	VR11	21,2	26,3	24,3	26
Vrid	VR12	73,2	47,3	24,2	30
Vrid	VR13	28,2	57,3	34,3	32,6
Vrid	VR14	23,5	24,1	26,4	27,8
Vrid	VR15	61	46	75,3	36,7
Kombi	K11	28,7	29,9	59,7	35,3
Kombi	K12	61,3	21,6	69,3	32,5
Kombi	K13	61,9	29,2	38,5	32,2
Kombi	K14				
Kombi	K15				

3.2.2 Fabrikat 3

De uppmätta fuktkvoterna för stolparna från Fabrikat 3 listas i Tabell 8.

Med tanke på att stolparna från Fabrikat 3 är uppbyggda av ihoplimmade fanérsnitt är det inte lika enkelt att avgöra huruvida de uppnådda resultaten är konservativa eller inte. Däremot är de uppmätta fuktkvoterna, med något enskilt undantag (K03), väl samlade.

Tabell 8: Uppmätt fuktkvot (i procent) för trästolparna från Fabrikat 3.

Lastfall	Prov	Fuktkvot [%]
Knäck	KN07	13,8
Knäck	KN08	14,8
Knäck	KN09	14,6
Knäck	KN10	15,6
Knäck	KN11	13,2
Böj	B06	13,1
Böj	B07	11,7
Böj	B08	12
Böj	B09	13,8
Böj	B10	13,3
Vrid	VR01	13,1
Vrid	VR02	14,5
Vrid	VR03	15,7
Vrid	VR04	14,4
Vrid	VR05	14,2
Kombi	K01	14,6
Kombi	K02	14,1
Kombi	K03	22,9
Kombi	K04	13,5
Kombi	K05	12,6

3.3 KNÄCKNING

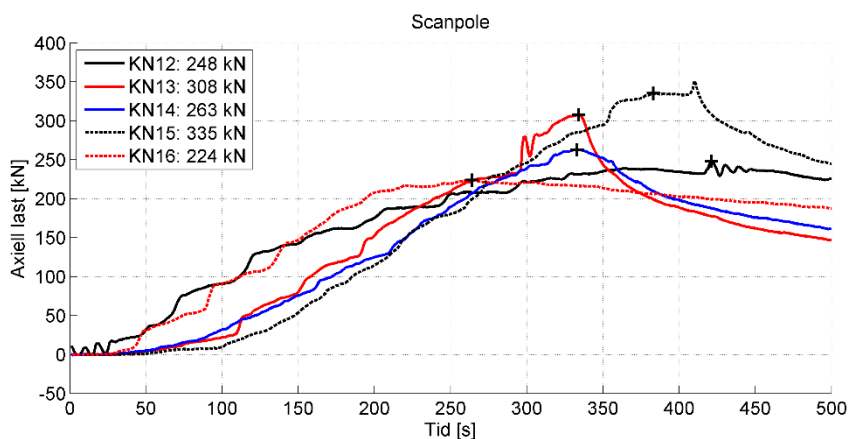
Knäcklastfallet har genomförts i enlighet med metodbeskrivningen i kapitel 2.3.1. I Figur 5 visas den provuppställning som användes för att genomföra proven.



Figur 5: Provuppställningen som användes för knäckproven. Den högra bilden visar den fasta inspänningen av rotändan.

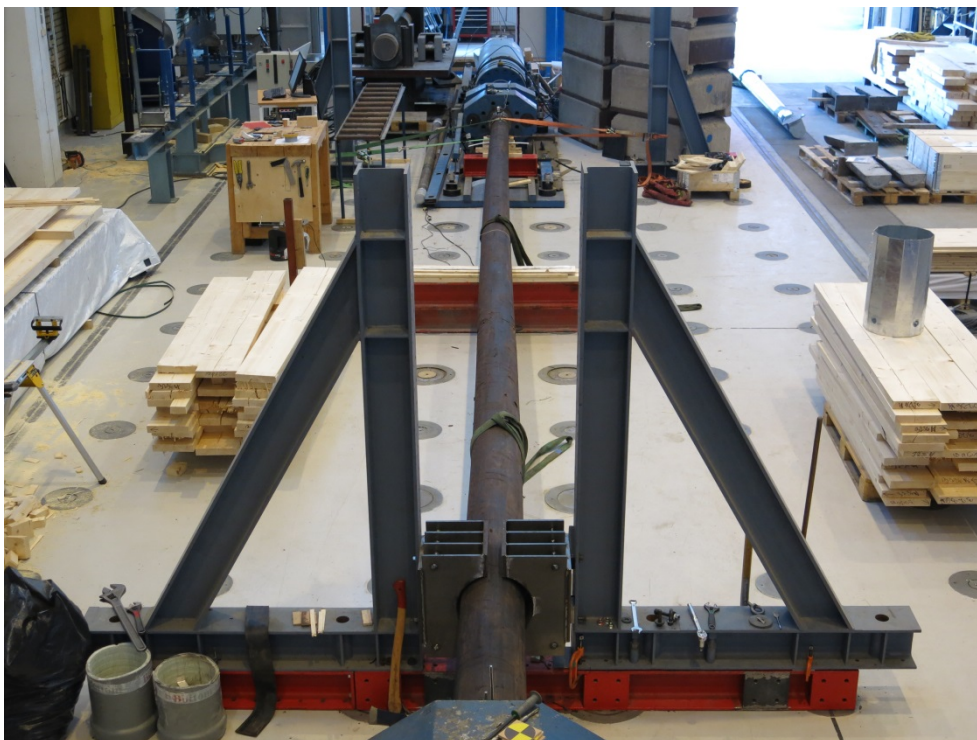
3.3.1 Fabrikat 1

Den uppmätta lasthistoriken från de fem knäckproven av stolpar från Fabrikat 1 visas i Figur 6. Från dessa grafer noteras att knäcklasterna varierar mellan 224 och 335 kN.



Figur 6: Uppmätt lasthistorik från knäckprovningen av stolpar från Fabrikat 1.

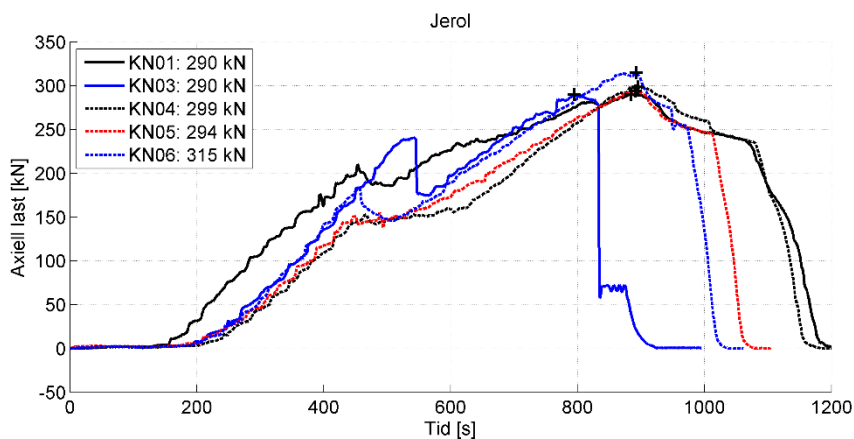
Inga uppenbara skador, till följd av knäcklasten, kunde noteras på stolparna från Fabrikat 1. I Figur 7 visas prov KN16.



Figur 7: Bild från prov KN16.

3.3.2 Fabrikat 2

Den uppmätta lasthistoriken från de fem knäckproven av stolpar från Fabrikat 2 visas i Figur 8. Från dessa grafer noteras att knäcklasterna varierar mellan 290 och 315 kN. Prov KN02 är ej med på grund av problem med insamlingen av mätdata.



Figur 8: Uppmätt lasthistorik från knäckprovningen av stolpar från Fabrikat 2.

I ovanstående figur kan det noteras att lasten sjunker något, alternativt stagnerar, när den når upp till runt 150-250 kN. Detta tros ha att göra med att bottenpluggen då börjar glida i stolpröret, se Figur 9.



Figur 9: Bilden visar intryckningen av bottenpluggen som tros ligga bakom att den axiella lasten sjunker något när den når upp till cirka 200 kN. Bilden kommer från prov KN01.

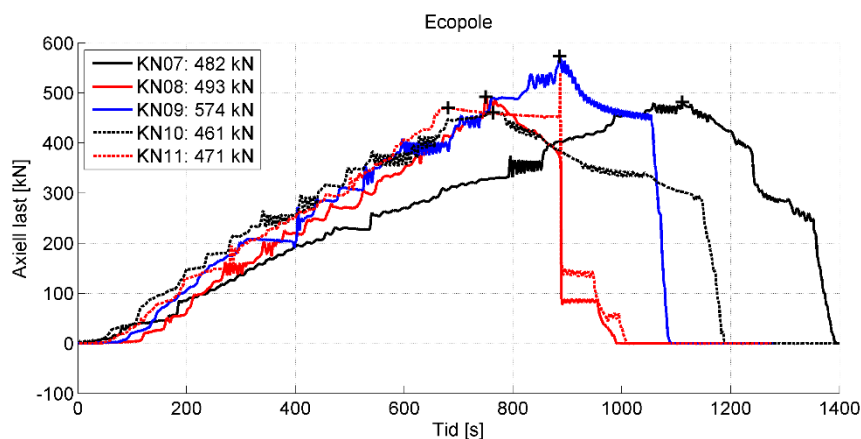
På grund av att Fabrikat 2 stolpen är klädd med ett skyddande ytterhölje är det inte helt enkelt att avgöra huruvida knäckningen är elastisk eller inte. I vissa fall, till exempel prov KN03, var det dock troligt att knäckningen var sådan att det lastbärande innerröret skadats, se Figur 10.



Figur 10: Trolig skada på det lastbärande innerröret till följd av knäcklasten. Bild från prov KN03.

3.3.3 Fabrikat 3

Den uppmätta lasthistoriken från de fem knäckproven av stolpar från Fabrikat 3 visas i Figur 11. Från dessa grafer noteras att knäcklasterna varierar mellan 461 och 574 kN.



Figur 11: Uppmätt lasthistorik från knäckprovningsen av stolpar från Fabrikat 3.

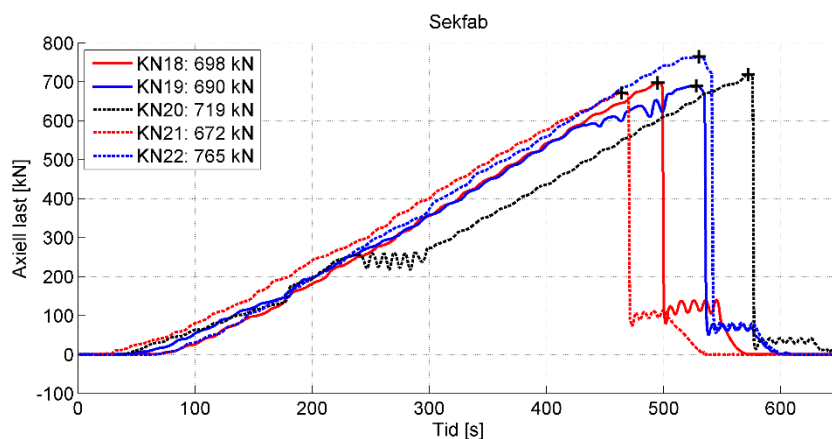
På vissa av de provade stolparna kunde, efter genomfört prov, vissa begynnande skador i den yttre limfogen noteras, se Figur 12.



Figur 12: Begynnande skada i den yttre limfogen. Bild från prov KN11.

3.3.4 Fabrikat 4

Den uppmätta lasthistoriken från de fem knäckproven av stolpar från Fabrikat 4 visas i Figur 13. Från dessa grafer noteras att knäcklasterna varierar mellan 672 och 765 kN.



Figur 13: Uppmätt lasthistorik från knäckprovningen av stolpar från Fabrikat 4.

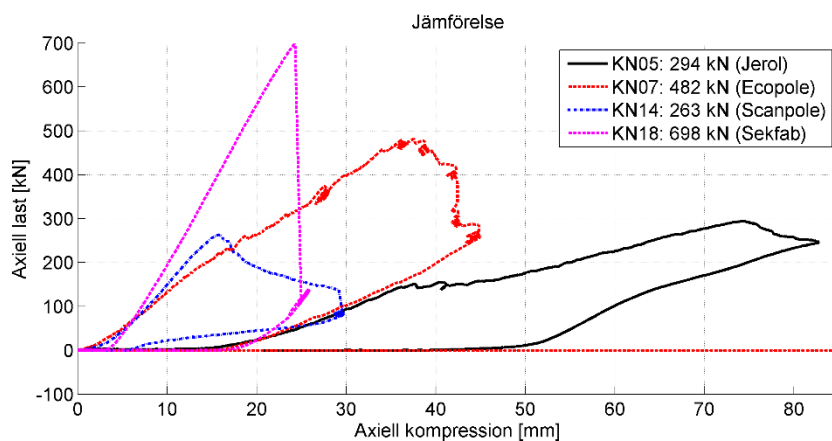
För samtliga av de fem provade stolparna från Fabrikat 4 ledde knäcklasten till en permanent deformation (buckling) vid mellan cirka 1-3 meter från toppen av stolpen, se Figur 14.



Figur 14: Buckling till följd av knäcklast, bild från prov KN18.

3.3.5 Sammanfattning

Avslutningsvis visas en jämförelse mellan ett knäckprov från vardera stolptillverkare i Figur 15. I denna jämförelse plottas den axiella lasten (kompressiv) som funktion av den axiella deformationen (kompressionen) av stolpen.



Figur 15: Uppmätt axiell last som funktion av axiell kompression för ett knäckprov från vardera tillverkare.

För varje stolptillverkare genomförs fem knäckprov för att få en uppfattning om den statistiska spridningen. I Tabell 9 redovisas identifierade min-, max- samt medelvärden för knäcklasterna tillsammans med dito standardavvikelse (Std).

Tabell 9: Statistik för identifierad knäcklast [kN] för de olika stolptyperna.

Tillverkare	Min	Max	Medel	Std
Fabrikat 1	224	335	276	45
Fabrikat 2	290	315	298	10
Fabrikat 3	461	574	496	45
Fabrikat 4	672	765	709	36

Från ovanstående resultat kan det noteras att samtliga av de tre utmanarna (Fabrikat 2, Fabrikat 3 samt Fabrikat 4) har en högre medelknäcklast än referensstolpen (Fabrikat 1). Vad gäller individuella resultat så ligger samtliga av Fabrikat 2s uppmätta knäcklaster inom spannet av Fabrikat 1s (referens) uppmätta knäcklaster. För Fabrikat 3 och Fabrikat 4 är samtliga knäcklaster större än den maximala knäcklasten för Fabrikat 1 (referens).

3.4 BÖJNING

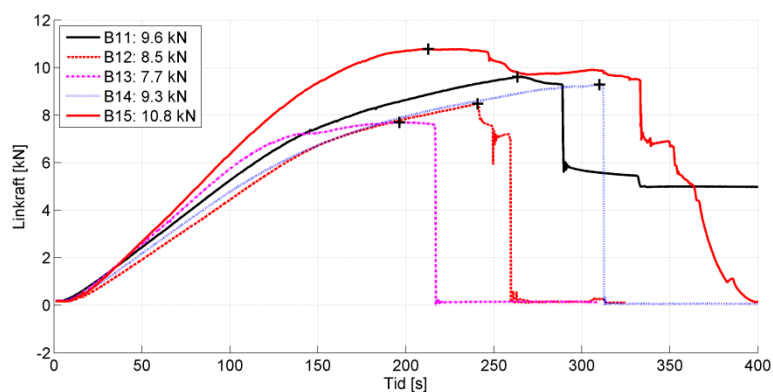
Nedan redovisas resultaten från de försök som har genomförts i enlighet med metodbeskrivningen i Kapitel 2.3.2. I Figur 16 visas en bild av den provuppställning som använts. Först presenteras resultaten per tillverkare och därefter följer en jämförelse mellan stolptyperna.



Figur 16: Provuppställning för böjprov.

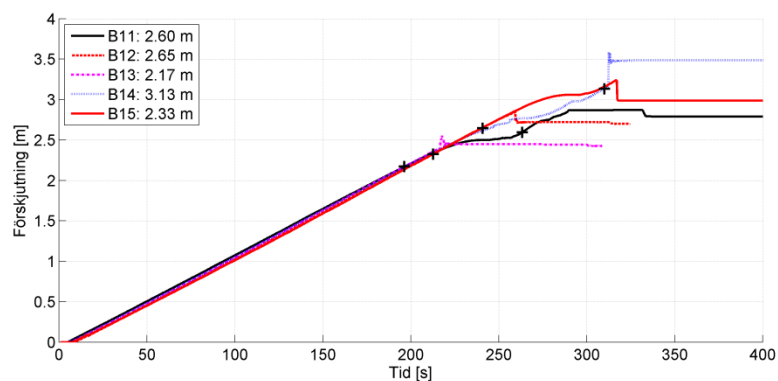
3.4.1 Fabrikat 1

Den uppmätta linkraften som funktion av tid för de fem böjproven av stolpar från Fabrikat 1 visas i Figur 17. I figuren är maxlasten indikerad.



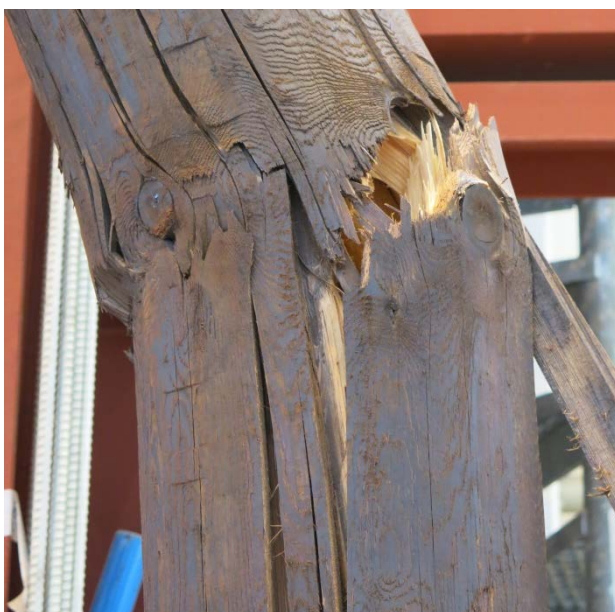
Figur 17: Fabrikat 1 - last som funktion av tiden.

Stolptoppens förskjutning som funktion av tiden visas i Figur 18. Av figuren framgår även stolptoppens förskjutning vid uppmätt maxlast.



Figur 18: Fabrikat 1 - förskjutning som funktion av tiden.

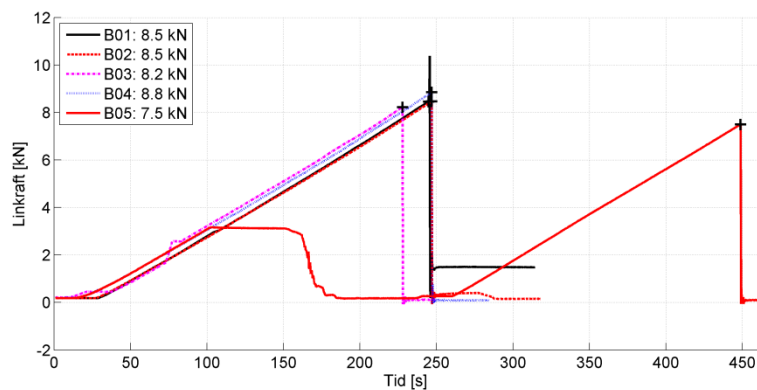
Vid provningen inträffade brotten mellan 0-3 m över det övre mothållet. I Figur 19 visas brottytan från prov B12.



Figur 19: Stolpbrott på grund av böjande last, bild från prov B12.

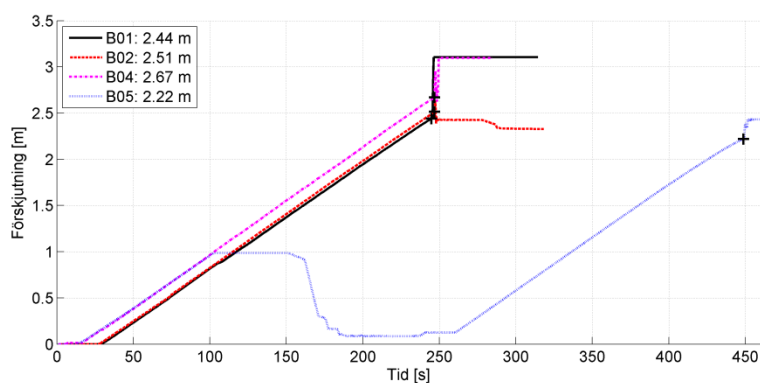
3.4.2 Fabrikat 2

Den uppmätta linkraften som funktion av tid för de fem böjproven av stolpar från Fabrikat 2 visas i Figur 20. I figuren är maxlasten indikerad.



Figur 20: Fabrikat 2 - last som funktion av tiden.

Stolptoppens förskjutning som funktion av tiden visas i Figur 21. Av figuren framgår även stolptoppens förskjutning vid uppmätt maxlast.



Figur 21: Fabrikat 2 - förskjutning som funktion av tiden. Prov B03 finns ej med på grund av att utrustningen som mäter förskjutningen gick sönder under provet. Under prov B05 gjordes en elastisk avlastning en bit in i provet.

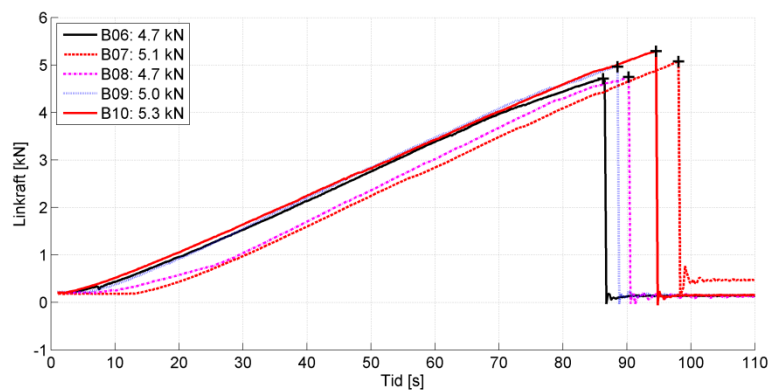
Samtliga prov fortgick till dess att ett tydligt stolpbrott kunde observeras. Dessa brott skedde inträffade 0,5-3,5 m ovanför det övre mothållet. Ett exempel på hur själva brottet kan se ut visas i Figur 22.



Figur 22: Bild av stolpbrott från prov B03.

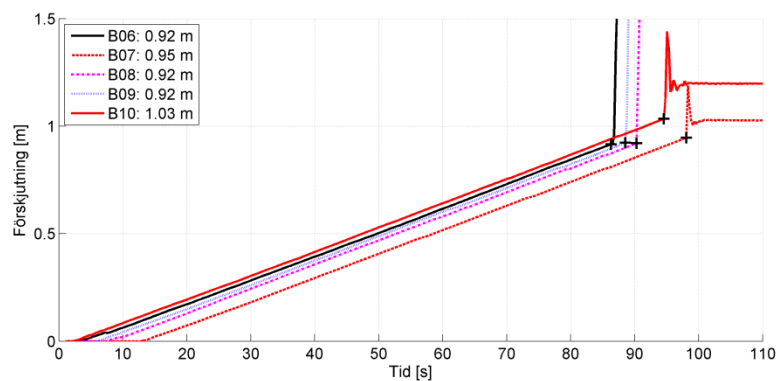
3.4.3 Fabrikat 3

Den uppmätta linkraften som funktion av tid för de fem böjproven av stolpar från Fabrikat 3 visas i Figur 23. I figuren är maxlasten indikerad.



Figur 23: Fabrikat 3 - last som funktion av tiden.

Stolptoppens förskjutning som funktion av tiden visas i Figur 24. Av figuren framgår även stolptoppens förskjutning vid uppmätt maxlast.



Figur 24: Fabrikat 3 - förskjutning som funktion av tiden.

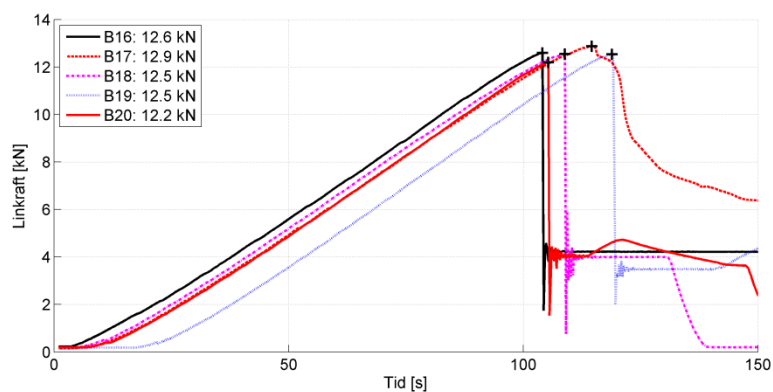
De stolpar som provades gick alla sönder strax ovanför det övre mothållet och brottet förefaller ha initierats kring den skarv som bildas mellan två yttersegment, se Figur 25.



Figur 25: Stolpbrott på grund av böjande last, bild från prov B08.

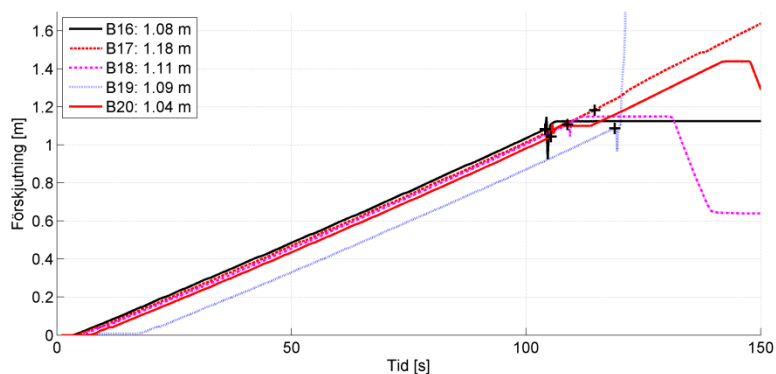
3.4.4 Fabrikat 4

Den uppmätta linkraften som funktion av tid för de fem böjproven av stolpar från Fabrikat 4 visas i Figur 26. I figuren är maxlasten indikerad.



Figur 26: Fabrikat 4 - last som funktion av tiden.

Stolptoppens förskjutning som funktion av tiden visas i Figur 27. Av figuren framgår även stolptoppens förskjutning vid uppmätt maxlast.



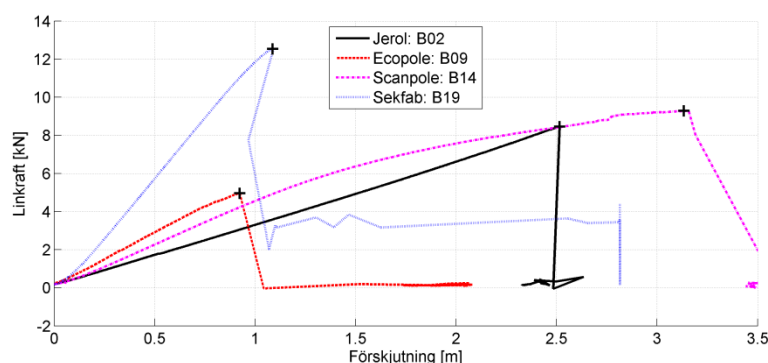
Figur 27: Fabrikat 4 - förskjutning som funktion av tiden.

För stolparna från Fabrikat 4 skedde stolpbrotten mellan 0-2,5 m över det övre mothållet. I Figur 28 visas området kring stolpbrottet från prov B18.



Figur 28: Bild av stolpbrott från prov B18.

3.4.5 Sammanfattning och jämförelse



Figur 29: Linkraft [kN] som funktion av förskjutning [m] för ett prov av varje stolptyp.

För varje stolptillverkare genomförs fem böjprov för att få en uppfattning om den statistiska spridningen. I Tabell 10 redovisas identifierade min-, max- samt medelvärden för böjlasterna tillsammans med dito standardavvikelse (Std).

Tabell 10: Statistik för identifierad maxlast [kN] för de olika stolptyperna.

Tillverkare	Min	Max	Medel	Std
Fabrikat 1	7,7	10,8	9,2	1,2
Fabrikat 2	7,5	8,8	8,3	0,5
Fabrikat 3	4,7	5,3	5,0	0,2
Fabrikat 4	12,2	12,9	12,5	0,2

Motsvarande värden för brottutböjningen redovisas i Tabell 11.

Tabell 11: Statistik för utböjning [m] vid identifierad maxlast för de olika stolptyperna.

Tillverkare	Min	Max	Medel	Std
Fabrikat 1	2,2	3,1	2,6	0,37
Fabrikat 2	2,2	2,7	2,5	0,19
Fabrikat 3	0,9	1,0	0,9	0,05
Fabrikat 4	1,0	1,2	1,1	0,05

Från ovanstående resultat kan ett antal observationer göras. För Fabrikat 3s del så är samtliga identifierade brottlaster lägre än någon av de brottlaster som observerats för Fabrikat 1 (referens). Däremot är brottutböjningen avsevärt mycket lägre än motsvarande värden för Fabrikat 1.

För Fabrikat 2s del är både de uppmätta brottlasterna samt brottutböjningarna i paritet med Fabrikat 1s värden, om än med något lägre medelvärde för både brottlast och brottutböjning.

Vad gäller brottlasterna för stolparna från Fabrikat 4 så är samtliga observerade värden högre än något av de observerade värdena för Fabrikat 1. Dessutom är brottutböjningen väsentligt lägre.

3.5 VRIDNING

Nedan redovisas resultaten från vridproven som har genomförts i enlighet med metodbeskrivningen i kapitel 2.3.3. I Figur 30 visas en bild av den provuppställning som använts för provningen av stolparna från Fabrikat 2, Fabrikat 1 samt Fabrikat 3. Utrustningen som mäter vinkeländringen har en upplösning på 1 grad vilket påverkar kurvornas utseende.

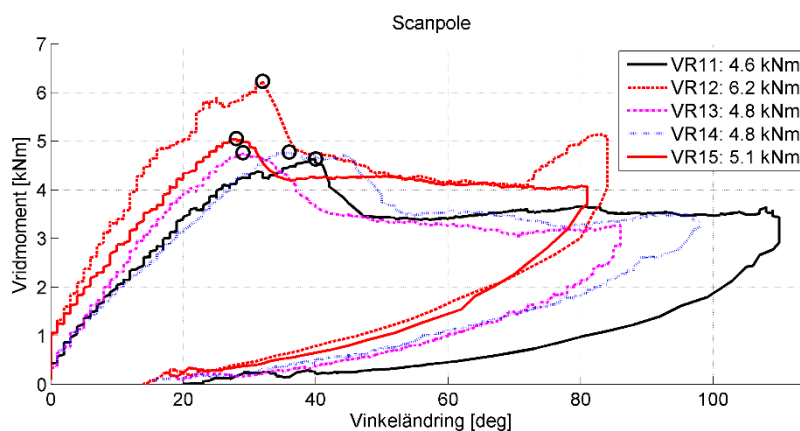


Figur 30: Provuppställning som användes för vridproven av stolparna från Fabrikat 2, Fabrikat 1 samt Fabrikat 3. Stolparna från Fabrikat 4 provades med en något modifierad provuppställning.

Först presenteras resultaten per stolptyp i den ordning som proven genomfördes. Därefter följer en jämförelse mellan stolptyperna.

3.5.1 Fabrikat 1

Det uppmätta vridmomentet som funktion av stolpens vinkeländring visas i Figur 31.

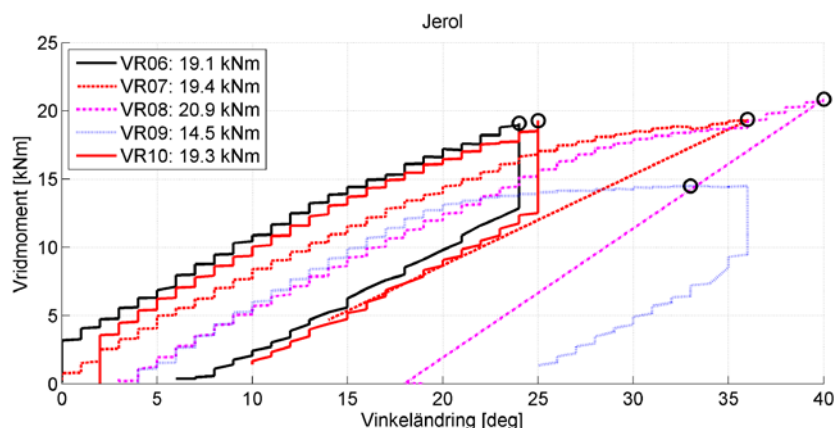


Figur 31: Uppmätt vridmoment som funktion av stolpens vinkeländring.

Ovanstående resultat visar att stolparna från Fabrikat 1 tappat sin förmåga att bära en vridande last på ett kontrollerat sätt. När vinkeländringen når en viss gräns sjunker vridmomentet något men utan att stolparna kollapsar. Skadan som uppstår på stolpen är svår att observera visuellt.

3.5.2 Fabrikat 2

Det uppmätta vridmomentet som funktion av stolpens vinkeländring visas i Figur 32.

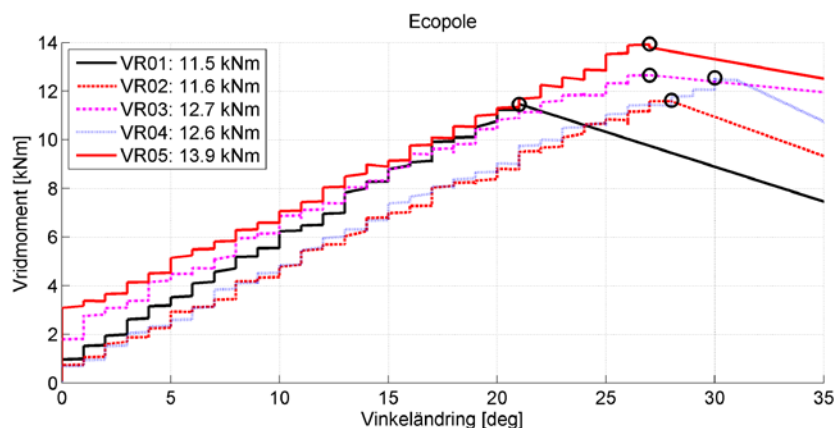


Figur 32: Uppmätt vridmoment som funktion av stolpens vinkeländring.

Vid vridprovningen av stolparna från Fabrikat 2 avbröts samtliga prov innan något rent vridbrott kunde observeras. Anledningen till detta är dels att den provuppställning som användes har ett begränsat vridmoment dels att det, i samråd med Energiforsk, ansågs tillräckligt att kunna konstatera att stolparna från Fabrikat 2 har en vridmomentkapacitet som är minst 3-4 gånger större än trästolparna från Fabrikat 1 (jämför med resultaten i Figur 31). Proven ger således ingen information om vilken maximal vridmomentkapacitet stolparna har. Däremot visar resultaten vilken vridstyvhet som kan förväntas.

3.5.3 Fabrikat 3

Det uppmätta vridmomentet som funktion av stolpens vinkeländring visas i Figur 33.



Figur 33: Uppmätt vridmoment som funktion av stolpens vinkeländring.

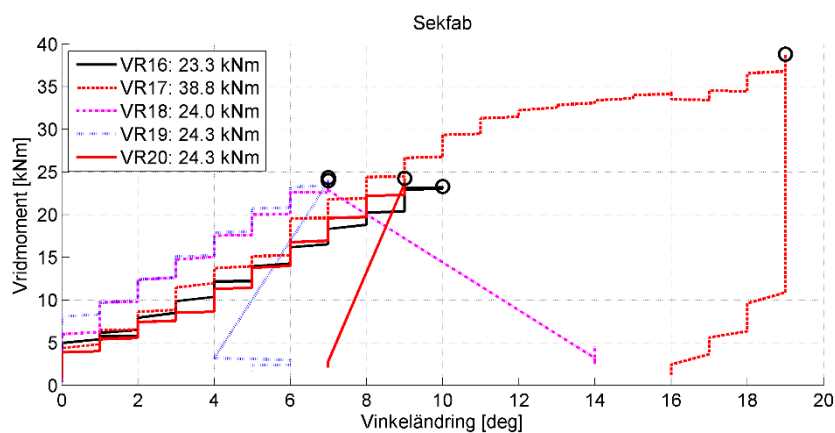
Samtliga vridprov av stolparna från Fabrikat 3 fortgick till dess att ett vridbrott uppstod. I Figur 34 visas utfallet av vridprov VR01.



Figur 34: Utfall av vridprov VR01.

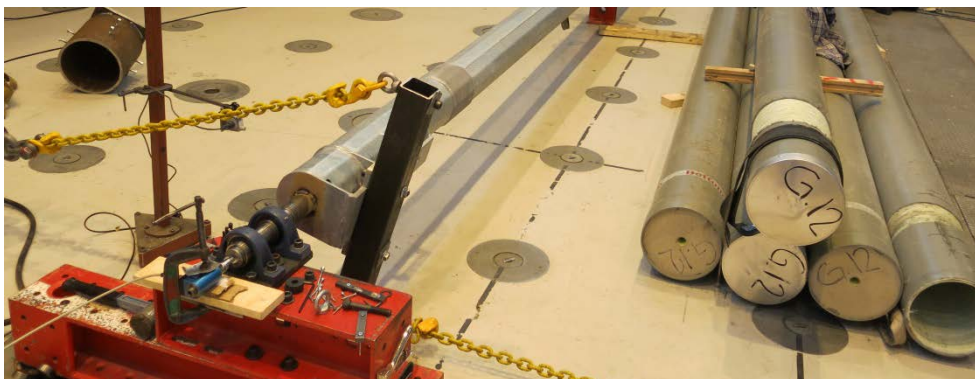
3.5.4 Fabrikat 4

Det uppmätta vridmomentet som funktion av stolpens vinkeländring visas i Figur 35.



Figur 35: Uppmätt vridmoment som funktion av stolpens vinkeländring.

Som nämnts i metodkapitlet så användes en något modifierad provuppställning på grund av att den metod som användes för övriga tre stolptyper byggde på en överföring av vridmomentet med hjälp av ett friktionsförband. Den modifierade provuppställningen visas i Figur 36.



Figur 36: Modifierad provuppställning för vridprovet som användes för provningen av stolparna från Fabrikat 4. Bild från prov VR16.

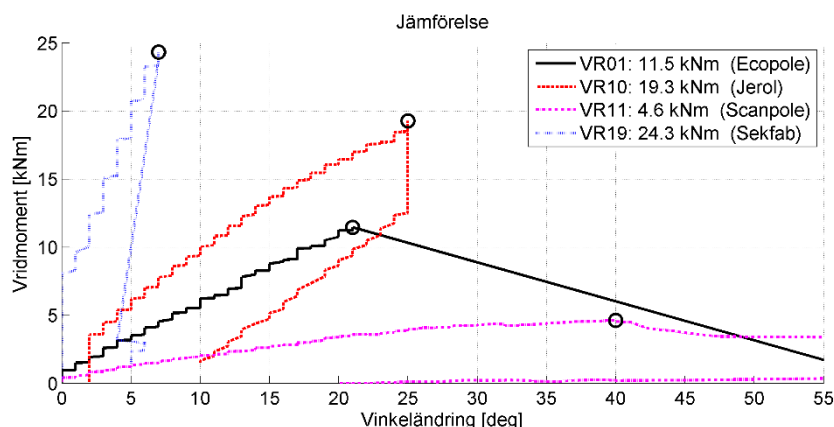
Vridproven är stolparna från Fabrikat 4 fortgick till dess att skador på infästningsdetaljerna kunde observeras, se Figur 37. De ovan angivna maxmomenten ska därför inte betraktas som vridmomentkapaciteter för själva stolparna utan bör på samma sätt som för stolparna från Fabrikat 2 uppfattas på så vis att Fabrikat 4s stolpar klarar åtminstone 4-5 gånger så stor vridmomentbelastning jämfört med den kreosotimpregnerade trästolpen från Fabrikat 1.



Figur 37: Skadad infästningsdetalj till följd av vridande last. Bild från prov VR17.

3.5.5 Sammanfattning

I Figur 38 visas medianprovet från respektive tillverkare.



Figur 38: Uppmätt vridmoment som funktion av stolpens vinkeländring, jämförelse mellan de olika stolptillverkarnas medianprov.

Vridproven av stolparna från Fabrikat 3 fortgick till dess att ett tydligt brott kunde observeras. Dessa värden kan därför betraktas som karaktäristiska för stolparnas vridmomentkapacitet. Detsamma gäller för trästolparna från Fabrikat 1 där proven fortgick till dess att ett tydligt maxima kunde noteras.

Vridproven av Fabrikat 2s kompositstolpar genomfördes upp till provuppställningens maximala vridmoment och visar således endast en undre gräns för vad stolparna klarar av. Det framgår dock att dessa stolpar klarar minst 3-4 gånger så stort vridande moment som trästolparna från Fabrikat 1 klarar.

Proven av stolparna från Fabrikat 4 fortgick till dess att skador på infästningsdetaljerna kunde noteras. Det kan därför vara så att själva stolparna klarar ett högre vridmoment än de värden som rapporterats ovan. Precis som för Fabrikat 2s stolpar kan det konstateras att Fabrikat 4s stolpar klarar ett väsentligt högre vridmoment (minst 4-5 gånger så hög vridmomentkapacitet) jämfört med referensstolpen från Fabrikat 1.

Gemensamt för samtliga stolptyper är dock att proven visar på hur vridstyvheten skiljer sig åt för de olika stolparna, se Figur 38.

För varje stolptillverkare genomförs fem vridprov för att få en uppfattning om den statistiska spridningen. I Tabell 12 redovisas identifierade min-, max- samt medelvärden för vridlasterna tillsammans med dito standardavvikelse (Std). Observera dock, baserat på ovanstående resonemang, att det endast är värdena för stolparna från Fabrikat 3 och Fabrikat 1 som kan betraktas som en indikation om stolparnas vridmomentkapacitet.

Tabell 12: Statistik för identifierad vridmomentkapacitet [kNm] för de olika stolptyperna.

Tillverkare	Min	Max	Medel	Std
Fabrikat 1	4,6	6,2	5,1	0,7
Fabrikat 3	11,5	13,9	12,4	1,0
Fabrikat 2	14,5	20,9	18,6	2,4
Fabrikat 4	23,3	38,8	26,9	6,7

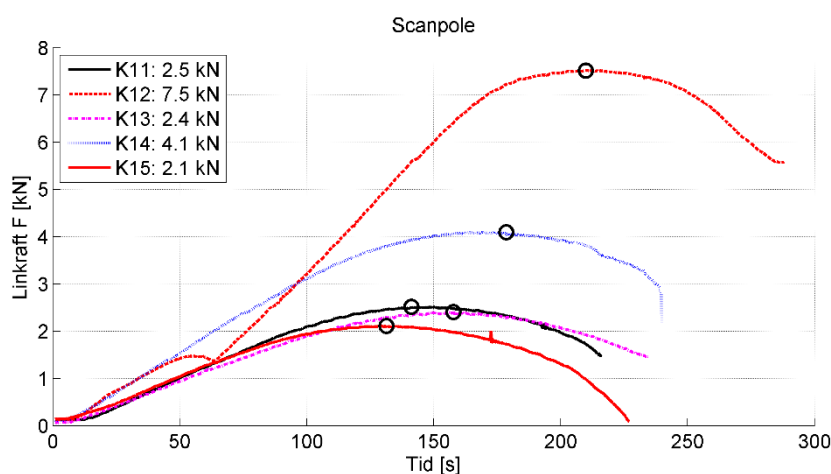
3.6 KOMBINERAT LASTFALL

Nedan redovisas resultaten från det kombinerade lastfallet som har utförts i enlighet med metodbeskrivningen i kapitel 2.3.4. Först redovisas resultaten för de olika stolptyperna. Därefter följer en sammanfattning.

För varje prov är den punkt där linkraften når sitt maximum markerad. För övriga resultat markeras motsvarande tidpunkt.

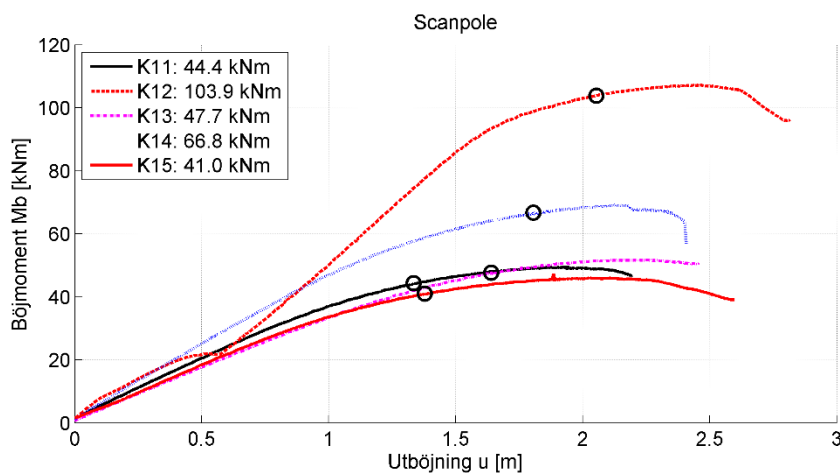
3.6.1 Fabrikat 1

Nedan redovisas utfallet av det kombinerade lastfallet för de kreosotimpregnerade stolparna från Fabrikat 1. Den uppmätta linkraften som funktion av tid redovisas i Figur 39.



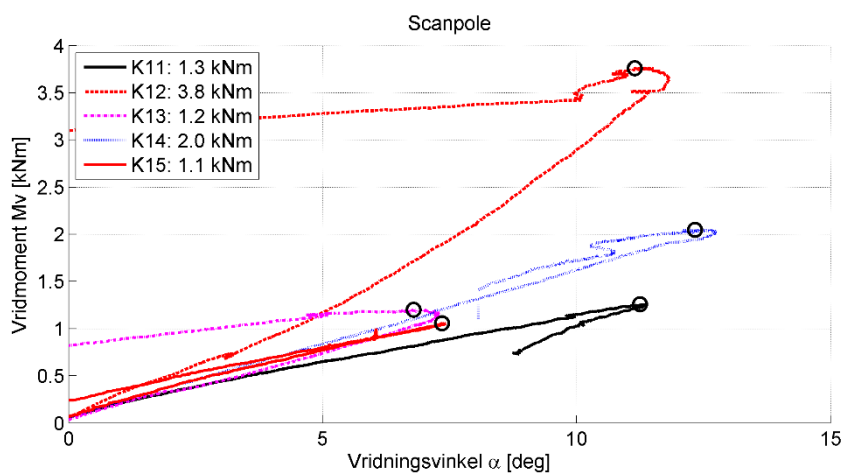
Figur 39: Linkraft som funktion av tid.

Det beräknade böjmomentet (till följd av linkraft samt dödvikter) i jordbandet som funktion av stolpens utböjning i toppen visas i Figur 40.



Figur 40: Böjmoment i jordbandet som funktion av utböjning.

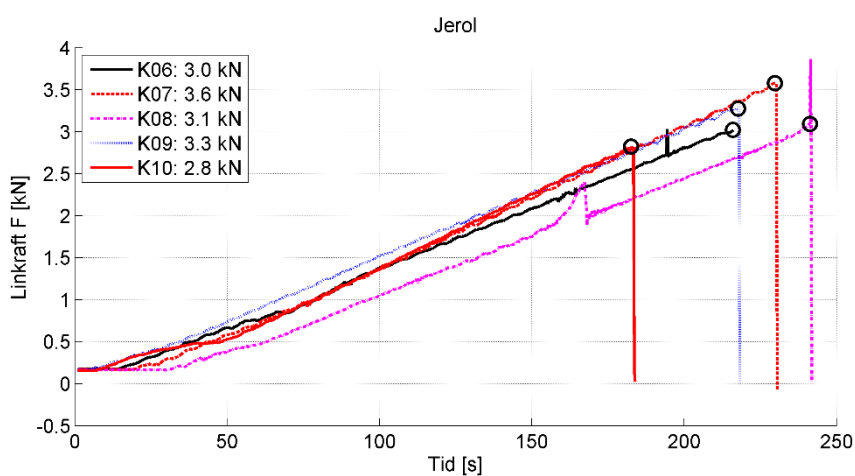
I Figur 41 visas det beräknade vridmomentet i jordbandet som funktion av stolpens beräknade vridningsvinkel i toppen.



Figur 41: Vridmoment i jordbandet som funktion av stolpens vridningsvinkel.

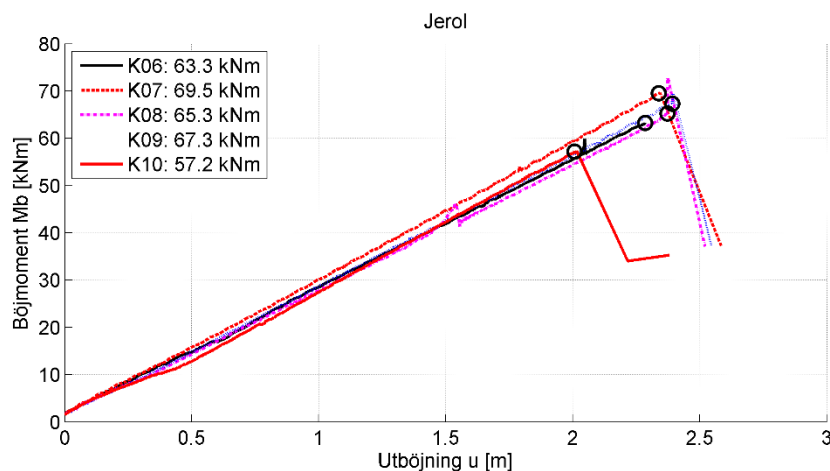
3.6.2 Fabrikat 2

Nedan redovisas utfallet av det kombinerade lastfallet för kompositstolparna från Fabrikat 2. Den uppmätta linkraften som funktion av tid redovisas i Figur 42.



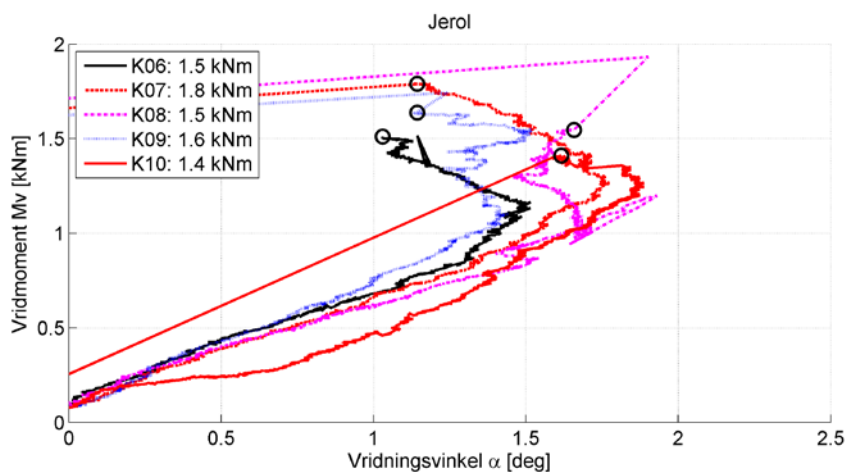
Figur 42: Linkraft som funktion av tid.

Det beräknade böjmomentet (till följd av linkraft samt dödvikter) i jordbandet som funktion av stolpens utböjning i toppen visas i Figur 43.



Figur 43: Böjmoment i jordbandet som funktion av utböjning.

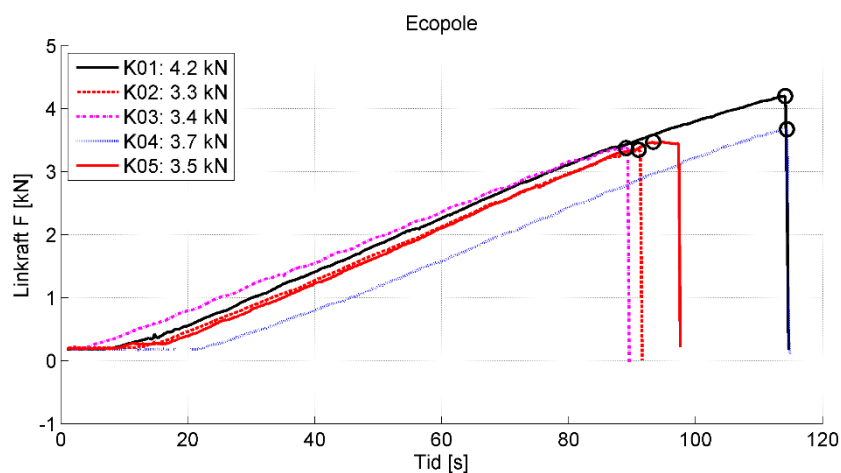
I Figur 44 visas det beräknade vridmomentet i jordbandet som funktion av stolpens beräknade vridningsvinkel i toppen.



Figur 44: Vridmoment i jordbandet som funktion av stolpens vridningsvinkel.

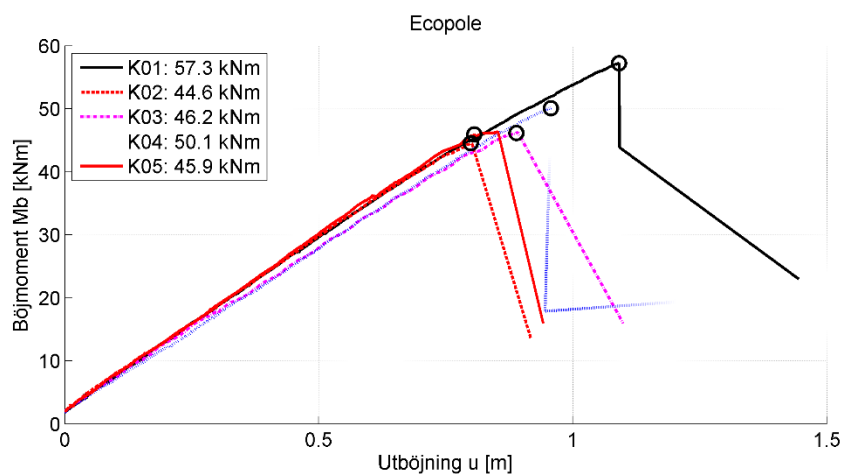
3.6.3 Fabrikat 3

Nedan redovisas utfallet av det kombinerade lastfallet för fanerstolparna från Fabrikat 3. Den uppmätta linkraften som funktion av tid redovisas i Figur 45.



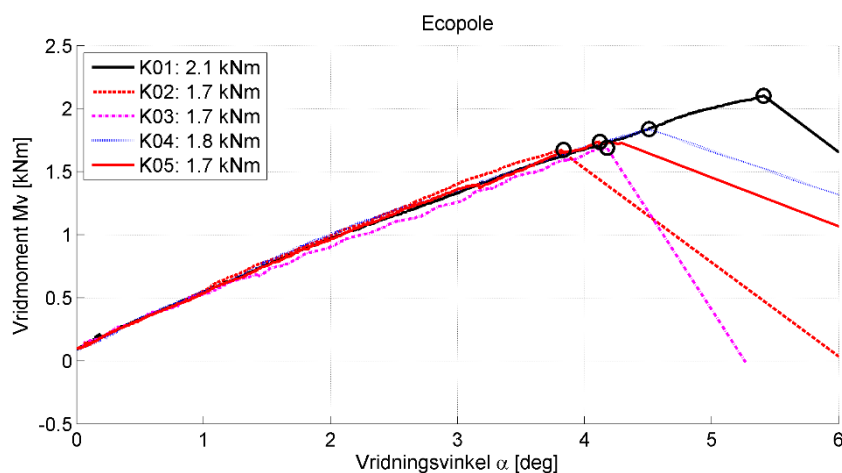
Figur 45: Linkraft som funktion av tid.

Det beräknade böjmomentet (till följd av linkraft samt dödvikter) i jordbandet som funktion av stolpens utböjning i toppen visas i Figur 46.



Figur 46: Böjmoment i jordbandet som funktion av utböjning.

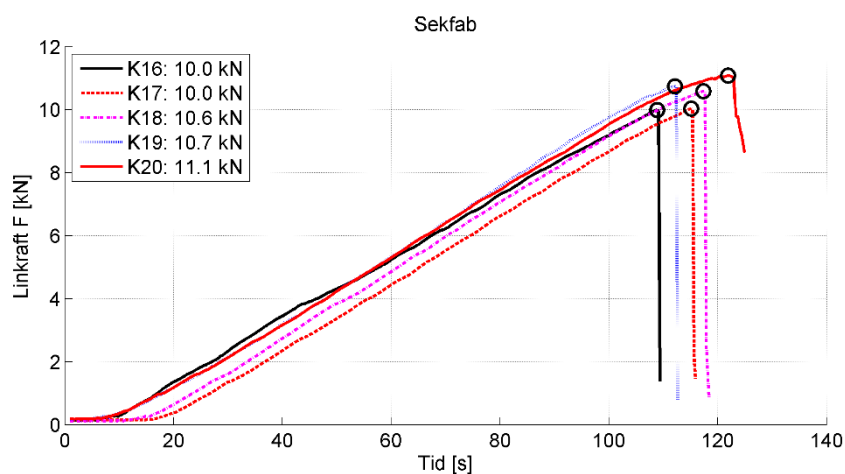
I Figur 50 visas det beräknade vridmomentet i jordbandet som funktion av stolpens beräknade vridningsvinkel i toppen.



Figur 47: Vridmoment i jordbandet som funktion av stolpens vridningsvinkel.

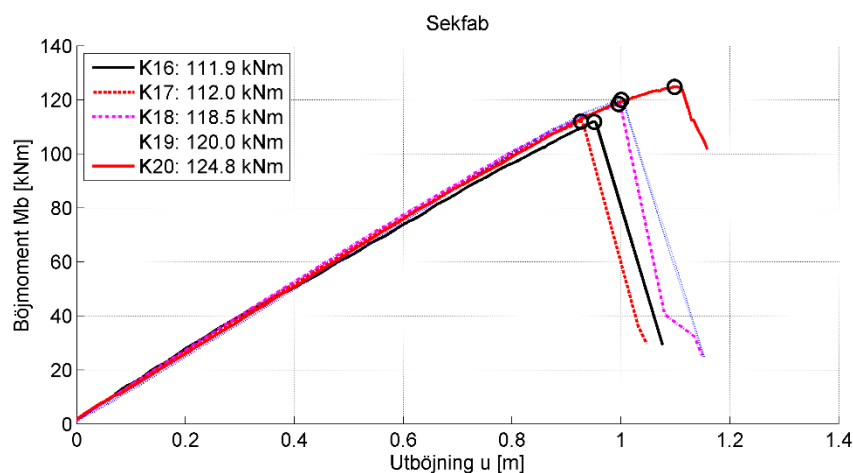
3.6.4 Fabrikat 4

Nedan redovisas utfallet av det kombinerade lastfallet för stål stolparna från Fabrikat 4. Den uppmätta linkraften som funktion av tid redovisas i Figur 48.



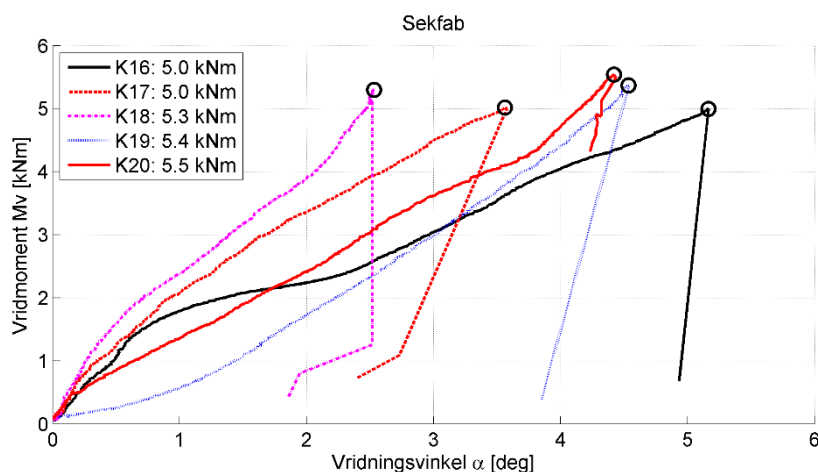
Figur 48: Linkraft som funktion av tid.

Det beräknade böjmomentet (till följd av linkraft samt dödvikter) i jordbandet som funktion av stolpens utböjning i toppen visas i Figur 49.



Figur 49: Böjmoment i jordbandet som funktion av utböjning.

I Figur 50 visas det beräknade vridmomentet i jordbandet som funktion av stolpens beräknade vridningsvinkel i toppen.



Figur 50: Vridmoment i jordbandet som funktion av stolpens vridningsvinkel.

3.6.5 Sammanfattning

I det kombinerade lastfallet utsätts de provade stolparna för en linkraft som angriper stolpen med en hävarm som resulterar i att ett böjmoment och ett vridmoment samtidigt belastar stolpen. Dessutom belastas stolpen med en konstant axiell belastning med hjälp av dödvikter (2x750 kg). Syftet med lastfallet är att undersöka stolparnas belastningskapacitet när olika typer av laster samverkar.

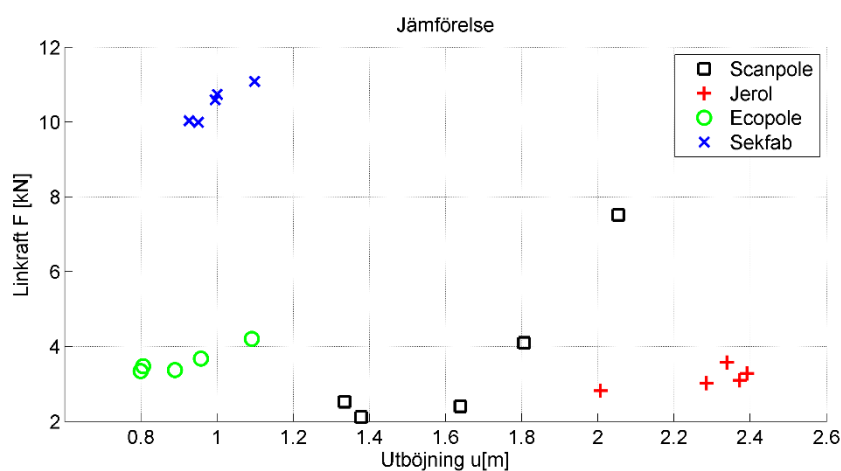
I Figur 51 visas den identifierade maximala linkraften som funktion av dito utböjning av stolpens topp. Av figuren framgår vilken belastningskapacitet (i termer av linkraft) som de olika stolparna har. Dessutom ger figuren information om de olika stolparnas böjstyvhet (vilket diskuteras nedan).

Stolparna från Fabrikat 2, Fabrikat 3 och Fabrikat 4 uppvisar ett relativt samlat resultat vad gäller maximal linkraft samt dito utböjning medan stolparna från Fabrikat 1 uppvisar en större spridning i de uppmätta resultaten.

Vad gäller den maximala linkraften så klarar stolparna från Fabrikat 4 en 2-3 gånger så stor linkraft jämfört med stolparna från Fabrikat 2 och Fabrikat 3 samt en åtminstone 30% högre linkraft än den stolpe från Fabrikat 1 som klarade den högsta linkraften (cirka 7.5 kN).

Den identifierade linkraftskapaciteten för stolparna från Fabrikat 3 och Fabrikat 2 är i paritet med motsvarande värden för Fabrikat 1 men den stora spridningen i Fabrikat 1s värden gör det svårare att göra generella uttalanden.

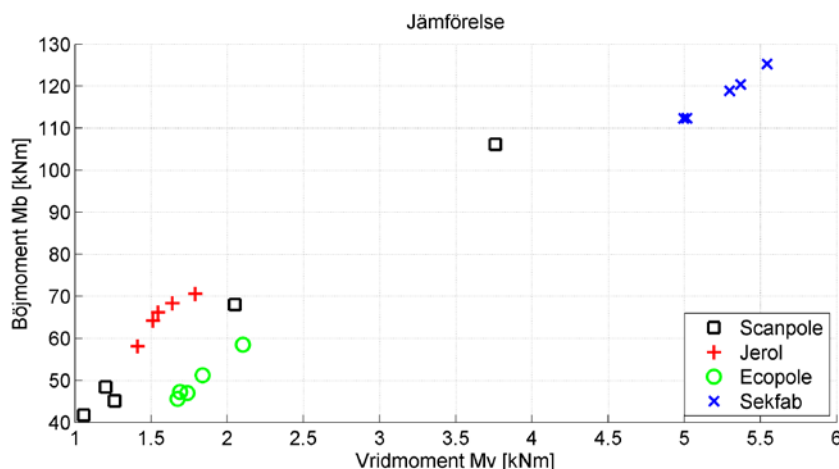
Utböjningen vid maximal linkraft för stolparna från Fabrikat 1 och Fabrikat 3 är i samtliga fall mindre än någon av motsvarande värden för stolparna från Fabrikat 1. För Fabrikat 2s stolpar inträffar den maximala linkraften vid en utböjning som generellt sett är större än motsvarande utböjning för Fabrikat 1s stolpar.



Figur 51: Linkraft som funktion av utböjning vid den identifierade maximala linkraften för samtliga kombiprover.

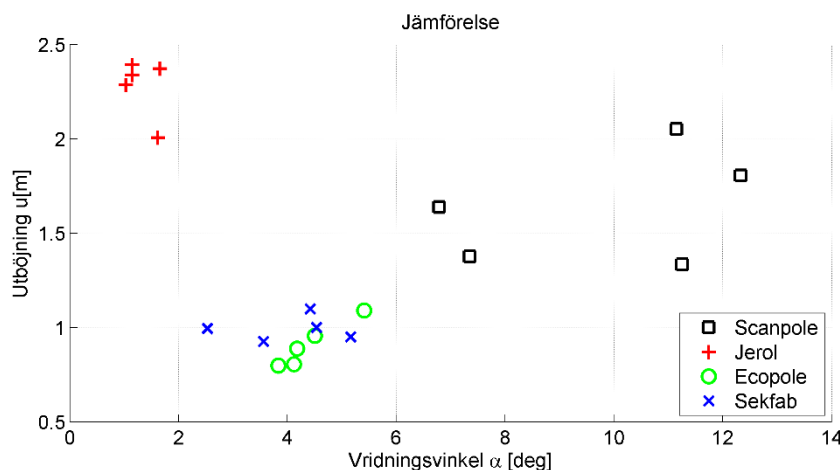
I takt med att stolparna böjer ut bidrar även dödvikterna till det böjande momentet. Linkraften ger därför inte hela bilden vad gäller stolparnas böjmomentkapacitet. I Figur 52 visas därför det beräknade böjmomentet i stolparnas jordband som funktion av motsvarande vridmoment.

Figurens innehåll visar återigen att Fabrikat 1s stolpar uppvisar en större spridning i resultaten jämfört med övriga stolptillverkare. Stolparna från Fabrikat 4 har en märkbart högre belastningskapacitet än stolparna från övriga tillverkare. De identifierade böjmomentkapaciteterna för stolparna från Fabrikat 3 och Fabrikat 2 ligger inom spannet av dito värden för Fabrikat 1s stolpar.



Figur 52: Böjmoment i jordbandet som funktion av vridmoment i jordbandet vid identifierad maxlast för samtliga kombiproov.

Avslutningsvis visas den uppmätta utböjningen vid identifierad maximal linkraft som funktion av dito vridningsvinkel. De provade trästolparna från Fabrikat 1 har en högre vridningsvinkel jämfört med stolparna från övriga tillverkare. Stolparna från Fabrikat 4 och Fabrikat 2 vrids sig ungefär lika mycket vid det tillfälle då den maximala linkraften inträffar medan Fabrikat 2s stolpar vrids sig minst vid motsvarande ögonblick. Det bör dock poängteras att vridningsvinkeln beräknas approximativt (jämför med diskussionen i kapitel 2.3.4).



Figur 53: Utböjning som funktion av stolpens vridningsvinkel vid identifierad maxlast för respektive kombiproov.

3.7 BELASTNINGSKAPACITET

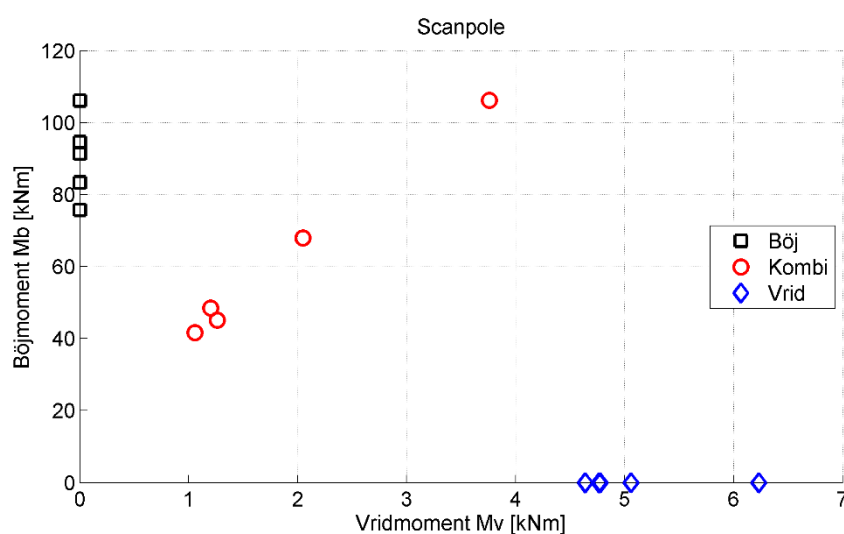
Stolparnas belastningskapacitet (enskilt och kombinerat) analyseras nedan enligt det upplägg som beskrivs i kapitel 2.4. Denna belastningskapacitet kan ses som en tredimensionell yta som spänns upp av de tre belastningskomponenterna (böjmoment, vridmoment samt axiell last). Det är dock endast det kombinerade lastfallet som innehåller en axiell last. För att renodla figurerna presenteras därför kapacitetsrymden som en tvådimensionell figur.

Nedan redovisas utfallet för böjlastfallet, vridlastfallet samt det kombinerade lastfallet i en figur per tillverkare. Syftet med dessa figurer är att besvara hur stolparnas böjmomentkapacitet påverkas om de samtidigt utsätts för en axiell last (kompressiv) och för ett vridande moment.

3.7.1 Fabrikat 1

Utfallet från de tre lastfall som används för att illustrera belastningskapaciteten visas i Figur 54.

Från dessa resultat kan det konstateras att böjmomentkapaciteten reduceras avsevärt när stolpen utöver ett böjande moment dessutom belastas av en axiell last samt ett vridande moment.



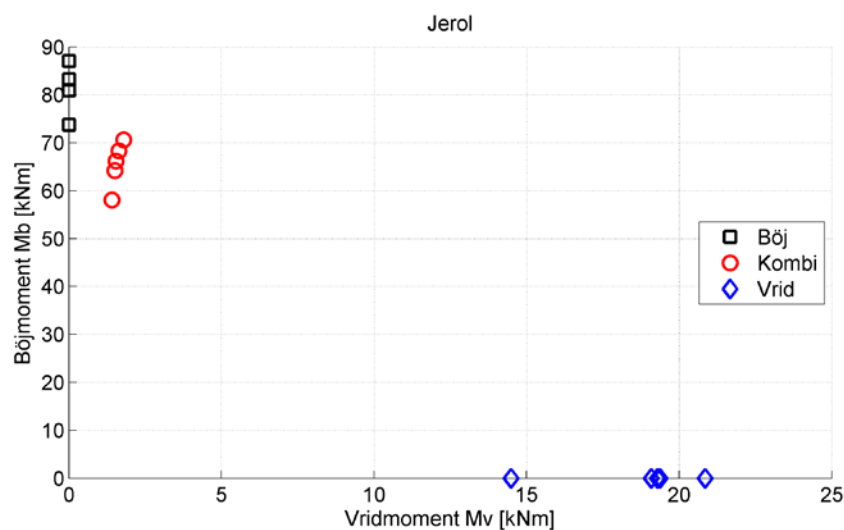
Figur 54: Resultat från böjlastfall, kombinerat lastfall respektive vridlastfallet i termer av böjmoment vid identifierad maxlast som funktion av dito vridmoment.

3.7.2 Fabrikat 2

Utfallet från de tre lastfall som används för att illustrera belastningskapaciteten visas i Figur 55.

Det bör dock poängteras att resultaten från vridproven av kompositstolparna från Fabrikat 2 inte motsvarar stolparnas vridmomentkapacitet (ett utökat resonemang kring detta återfinns i kapitel 3.5.2).

Utifrån resultaten i figuren kan det ändå konstateras att böjmomentkapaciteten reduceras på grund av den kombinerade lasten.

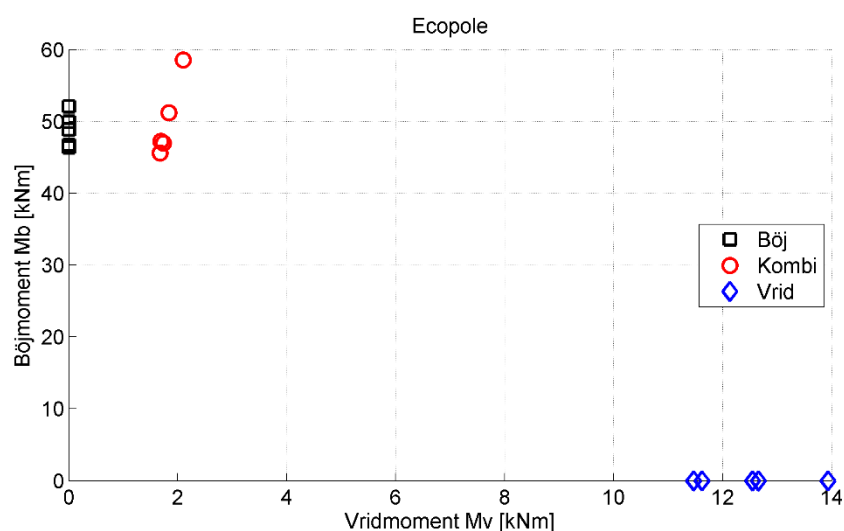


Figur 55: Resultat från böjlastfall, kombinerat lastfall respektive vridlastfallet i termer av böjmoment vid identifierad maxlast som funktion av dito vridmoment.

3.7.3 Fabrikat 3

Utfallet från de tre lastfall som används för att illustrera belastningskapaciteten visas i Figur 56.

Resultaten visar att böjmomentkapaciteten är relativt opåverkad av den kombinerade lasten. Detta kan delvis förklaras av att de böjbrott som observerades i böjlastfallet troligen initierades kring limfogen på den dragpåkända sidan av stolpen. Den överlagrade axiella tryckkraften i det kombinerade lastfallet bidrar därmed till att sänka dragspänningarna kring limfogen.



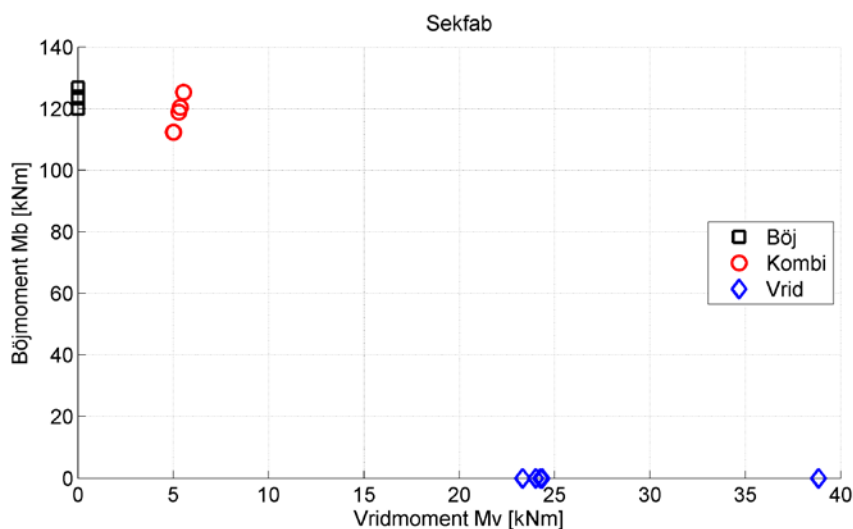
Figur 56: Resultat från böjlastfall, kombinerat lastfall respektive vridlastfallet i termer av böjmoment vid identifierad maxlast som funktion av dito vridmoment.

3.7.4 Fabrikat 4

Utfallet från de tre lastfall som används för att illustrera belastningskapaciteten visas i Figur 57.

Det bör dock poängteras att resultaten från vridproven av stål stolparna från Fabrikat 4 ej bör tolkas som egenskaper hos stolpen utan snarare som kapaciteten hos den infästningskonfiguration som användes vid vridprovet.

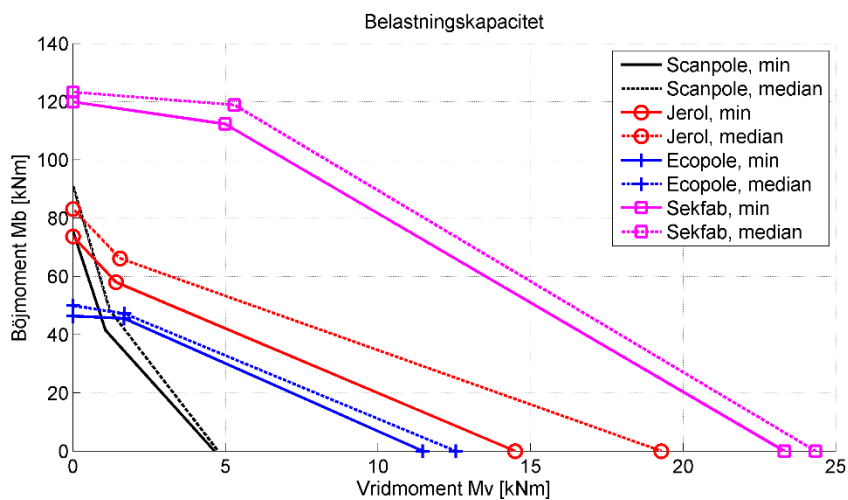
Från figuren kan det noteras att böjmomentkapaciteten är marginellt reducerad till följd av de kombinerade lasterna.



Figur 57: Resultat från böjlastfall, kombinerat lastfall respektive vridlastfallet i termer av böjmoment vid identifierad maxlast som funktion av dito vridmoment.

3.7.5 Sammanfattning

Nedan redovisas min- och medianprovet från respektive lastfall och stolptillverkare som redovisats enskilt ovan.



Ovanstående resultat visar att kompositstolparna från Fabrikat 2 generellt sett har en högre belastningskapacitet än referensstolparna från Fabrikat 1.

För Fabrikat 3s fanéristolpar framgår att den rena böjmomentkapaciteten är lägre än motsvarande värden för Fabrikat 1. För det kombinerade lastfallet samt vridlastfallet uppvisar dock Fabrikat 3s stolpar bättre värden än Fabrikat 1.

Från figuren framgår också att stålstolparna har en klart högre belastningskapacitet i samtliga lastfall jämfört med referensstolparna från Fabrikat 1.

4 Slutsatser och rekommendationer

I denna rapport presenteras resultaten från den studie som Energiforsk har gett SP – Sveriges tekniska forskningsinstitut i uppdrag att genomföra. Syftet med studien är att ta fram hållfasthetsegenskaperna för fyra olika elstolpar av typ G12. Bakgrunden till studien är, bland annat, det förbud mot användning av kreosot som impregneringsmedel som diskuteras.

Stolpar från fyra olika leverantörer ingår i studien. En kreosotimpregnerad trästolpe från Fabrikat 1 ingår som referens. Därutöver ingår en kompositstolpe från Fabrikat 2, en fanerstolpe från Fabrikat 3 samt en stålstolpe från Fabrikat 4. I studien jämförs resultaten för de tre utmanarna med referensen för att på så vis kunna utröna huruvida de tre utmanarna kan utgöra fullgoda ersättare till referensen.

Stolparna genomgår först tre renodlade lastfall (knäckning, böjning samt vridning) för att sedan testas då de belastas med dessa tre laster samtidigt (kombinerat lastfall). För varje stolptyp genomförs varje lastfall fem gånger för att få en uppfattning om den statistiska spridningen i de uppmätta egenskaperna. Totalt redovisas således resultat från 80 prov i denna rapport.

I knäcklastfallet (Euler 3) testas stolparnas förmåga att bära en axiell last (kompression). Syftet med provet är att undersöka vilken axiell last som stolparna klarar. Proven genomförs genom att stolpen komprimeras (konstant deformationshastighet) medan den axiella lasten mäts. Provet fortgår till dess att stolpen knäcker ut (bucklar) alternativt till dess att ett tydligt maximum i axiallasten har kunnat noteras.

Resultaten från knäckproven visar att de uppmätta knäcklasterna för Fabrikat 2s kompositstolpar hamnar inom spannet av uppmätta värden för Fabrikat 1s trästolpar. Dock var medelvärdet av Fabrikat 2s knäcklaster (298 kN) något högre än motsvarande värde för Fabrikat 1 (276 kN). Knäcklasterna för Fabrikat 3s stolpar var i samtliga fall högre än för Fabrikat 1 med ett medelvärde på 496 kN. Detsamma gäller för knäcklasterna för Fabrikat 4s stolpar som hade ett medelvärde på 709 kN.

I böjlastfallet testades stolparnas förmåga att belastas med en linkraft som angriper vinkelrätt mot stolpen. Denna linkraft ger upphov till ett böjande moment som når sitt maximum i jordbandet. En sådan belastning kan, i verkligheten, till exempel uppstå om linkrafterna inte är i balans (exempelvis vid linbrott). Syftet med provet är således att avgöra hur mycket av en sådan belastning som stolparna tål. Provet genomförs genom att linan winschas in (konstant hastighet) medan linkraften mäts. Provet fortgår till dess att stolpen går av.

Resultaten från böjproven av Fabrikat 2s stolpar ger ett lägre medelvärde på den maximala linkraften (8,3 kN) jämfört med motsvarande medelvärde för Fabrikat 1 (9,2 kN). Samtliga av Fabrikat 3s stolpar fick en lägre maxlast än någon av Fabrikat 1s stolpar. Medelvärdet av Fabrikat 3s uppmätta maxlaster blev 5,0 kN. Samtliga av Fabrikat 4s stolpar fick en högre maxlast än någon av Fabrikat 1s maxlaster. Medelvärdet av Fabrikat 4s uppmätta maxlaster blev 12,5 kN.

Vid ett linbrott kan del resulterande obalansen i linkrafterna ge upphov till ett vridande moment kring stolpens vertikalaxel. Syftet med vridprovet är att bestämma vilken vridmomentkapacitet som de olika stolparna har.

Medelvärde av Fabrikat 1s uppmätta vridmomentkapaciteter blev 5,1 kNm. Motsvarande värde för Fabrikat 3 blev 12,4 kNm. Vid provningen av Fabrikat 2s stolpar nåddes provningsriggens maxkapacitet innan något vridbrott kunde observeras. Trots det kan det ändå, utifrån de uppmätta resultaten, konstateras att Fabrikat 2s vridmomentkapacitet är åtminstone 3-4 gånger så stor som motsvarande värden för Fabrikat 1. På liknande sätt visar resultaten för Fabrikat 4s stolpar en vridmomentkapacitet som är åtminstone 4-5 gånger så stor som den hos Fabrikat 1s stolpar.

I det avslutande kombinerade lastfallet belastades stolparna med en axiell last samtidigt som ett böjande och ett vridande moment. Syftet är, dels att bestämma stolparnas belastningskapacitet vid en mera realistisk belastning, dels att undersöka (baserat på de tidigare lastfallen) hur de olika lastkomponenterna samverkar. Provet genomfördes genom att fästa två vikter om vardera 750 kg i toppen på stolpen. Därefter anbringades en linkraft i toppen på stolpen med en hävarm på så sätt att linkraften gav upphov till både ett böjande och ett vridande moment.

Vad gäller den maximala linkraften så fick både Fabrikat 2 och Fabrikat 3 resultat som hamnar inom spannet av dito resultat för Fabrikat 1. För Fabrikat 4s del noterades genomgående högre värden för den maximala linkraften jämfört med Fabrikat 1.

Sammantaget visar studien att det endast är Fabrikat 4s stolpar som genomgående uppvisar bättre resultat än referensstolparna från Fabrikat 1. Resultaten för kompositstolparna från Fabrikat 2 hamnar generellt sett inom intervallet av uppmätta värden för stolparna från Fabrikat 1. I vridprovet får dock Fabrikat 2 avsevärt bättre resultat än Fabrikat 1. Fanerstolparna från Fabrikat 3 uppvisar bättre resultat än Fabrikat 1 i knäckprovet och vridprovet men får genomgående sämre resultat än Fabrikat 1 i böjprovet. I det kombinerade lastfallet uppvisar Fabrikat 3 resultat i paritet med Fabrikat 1.

De resultat som presenteras i denna rapport följer en provningsmetodik som i ett längre perspektiv skulle kunna utgöra ett embryo till ett generellt certifieringsförfarande. Studien har genomförts utifrån ett antal avgränsningar som har införts för att ge studien en rimlig omfattning. Bland dessa avgränsningar finns dock ett antal frågeställningar som eventuellt skulle behöva ingå i ovan nämnt certifieringsförfarande. Som ett exempel är till exempel frågan om beständighet mycket relevant för en produkt som har en förhållandevis hög förväntad livslängd. En annan intressant frågeställning är hur de redovisade egenskaperna påverkas av de temperaturvariationer som de kan förväntas utsättas för. Rapporten utvärderar heller inte stolparna ur ett arbetsmiljöperspektiv. Upprinnelsen till denna studie är det förbud mot användning av kreosot som impregneringsmedel som diskuteras. Mot den bakgrunden är det därför rimligt att ett certifieringsförfarande bör inkludera miljömässiga aspekter, till exempel genom livscykelanalyser.

5 Referenser

- [1] "Kreosot," 20 08 2015. [Online]. Available: <https://www.kemi.se/sv/Innehall/Fragor-i-fokus/Kreosot/>.
- [2] "Klartecken för kreosot i ytterligare fem år," [Online]. Available: <https://www.kemi.se/sv/Innehall/Nyheter/Klartecken-for-kreosot-i-ytterligare-fem-ar/>. [Använd 20 08 2015].
- [3] M. Granlund, D. Vennetti och J. Jermer, "ELFORSK projekt 31074 Förstudie - Process för materialkontroll inom eldistributionsbranschen," SP - Sveriges tekniska forskningsinstitut, 2014.
- [4] M. Granlund, D. Vennetti och J. Jermer, "Kvalitetssäkring av stolpar av trä," SP - Sveriges tekniska forskningsinstitut, Borås, 2014.
- [5] D. Vennetti, "Offert COX42512: Hållfasthetsprovning av stolpar," SP - Sveriges tekniska forskningsinstitut, Borås, 2014.
- [6] "Fuktkvot," [Online]. Available: http://www.svenskttra.se/om_tra_1/tra-och-fukt/fuktkvot. [Använd 20 08 2015].
- [7] "Elnätsmaterial," [Online]. Available: http://www.onninen.com/sweden/produkter/onnline/Documents/Flik_02_Elnatsmateriel.pdf. [Använd 20 08 2015].
- [8] "Produktspecifikation," [Online]. Available: http://media.Fabrikat2.se/2014/02/002-Kap2_Produkttabell-med-e-nummer_ver2.0_2015-04-27.pdf. [Använd 20 08 2015].
- [9] "Om Fabrikat 3," [Online]. Aidentifierad.
- [10] H. Lundh, Grundläggande hållfasthetslära, Stockholm: KTH, Hållfasthetslära, 2000.

ALTERNATIVA STOLPMATERIAL

I denna rapport presenteras resultaten från den studie som Energiforsk har gett SP Sveriges tekniska forskningsinstitut i uppdrag att genomföra. Syftet med studien är att ta fram hållfasthetsegenskaperna för fyra olika elstolpar av typ G12. Bakgrunden till studien är, bland annat, det förbud mot användning av kreosot som impregneringsmedel som diskuteras.

Stolpar från fyra olika leverantörer ingår i studien. En kreosotimpregnerad trästolpe från fabrikat 1 har studerats som referens. Därutöver ingår en kompositstolpe från fabrikat 2, en fanerstolpe från fabrikat 3 samt en stålstolpe från fabrikat 4. I studien jämförs resultaten för de tre utmanarna med referensen för att på så vis kunna utröna om de kan utgöra fullgoda ersättare till den impregnerade trästolpen.

Rapporten är öppen för alla att ta del av då de ingående fabrikaten har anonymiserats.

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