



1. Testopstelling voor de belastingtest van de hoekmast. Trekgewicht bij ULS-test van HM400-mast: 2700 kN.

Mastgedrag op ware grootte

TenneT heeft op een testlocatie in Geertruidenberg twee Wintrackmasten van de nieuwe generatie opgebouwd en het integrale ontwerp fullscale getest op vervormingsgedrag, maximale capaciteit (ULS), bouwbaarheid en op beheer- en onderhoudsaspecten. Inzicht in de belastingscombinaties en de meetresultaten.

ing. J.M. Spithoven, Msc T.J. Ploeg, dr.ir H.G. Stuit en Msc M.R. Shah Mohammadi

Jeroen Spithoven is projectmanager engineering bij TenneT in Arnhem, Teun Ploeg is Principal Consultant en Mohammad Reza Shah Mohammadi is Mechanical Consultant, beiden bij DNVGL in Arnhem. Herke Stuit is senior adviseur bij ABT in Delft. Movares in Utrecht heeft de metingen van de fullscale testen uitgevoerd.

Een aantal jaren geleden is een nieuw type hoogspanningsmast ontwikkeld: de Wintrack. Kenmerkend aan deze innovatieve mast is de strakke vormgeving en een smal magneetveld, en de mast is onderhoudsvriendelijk. De eerste generaties Wintrackmasten (Wintrack I en II, zie *kader p. 55*) zijn gerealiseerd in Randstad Noord- en Zuidring en in het tracé Doetinchem-Wesel.

Op basis van de *lessons learned* heeft er een doorontwikkeling plaatsgevonden naar een 3e generatie waarvoor een nieuwe aangescherpte set ontwerp- en beeldkwaliteitseisen zijn meegegeven. Begin 2020 is gestart met de realisatie van de Wintrack III-generatie voor:

- noordwest 380 kV, tracé Vierverlaten-Eemshaven (project NW380);
- zuidwest-west 380 kV, tracé Borssele-Ril-land (project ZWW380).

Testcriteria

Bij het uitwerken van het nieuwe ontwerp van de funderingen en masten zijn constructeurs en ontwerpers betrokken geweest van ingenieursbureaus Movares en DNV-GL. Daarnaast is Iv-Consult ingezet voor reviews en een second opinion. Eén van de eisen vanuit de projectorganisatie van de asset owner is het fullscale beproeven van het integrale ontwerp van twee representatieve masten op:

- bouwbaarheid van funderingen en masten;
- sterkte van verbindingen uithouders en clips op de masten (componenttesten);
- vervormingsgedrag van de masten (SLS);
- sterkte van de masten en verbindingen in het mastlichaam (ULS);
- dynamisch gedrag;
- beheer- en onderhoudsaspecten.

Masttypes

In het project komen drie mastfamilies voor (W2, W4 en W6). Per mastlocatie worden twee pylonen toegepast, waarbij binnen een mastfamilie steun-, hoek- en eindmasten voorkomen.

- Steunmast, ook wel draagmast genoemd. Die wordt overwegend belast door het (eigen)gewicht van de geleiders en door de windbelasting op mast en geleiders.
- Hoekmast, overgang van twee rechtstanden in het lijntracé. De hoekmast wordt permanent op trek belast door de lijnhoek en dient calamiteitenbelastingen te kunnen opvangen, zoals een geleiderbreuk.
- Eindmasten, die staan aan het einde van



TenneT heeft een aantal jaar geleden een nieuw type hoogspanningsmast ontwikkeld: de Wintrackmast. Deze innovatieve mast zorgt voor een forse reductie van de magneetveldzone. De Wintrack speelt in op maatschappelijke en technologische ontwikkelingen en maakt het mogelijk om optimaal gebruik te maken van de beschikbare ruimte in de omgeving. Kenmerken zijn het innovatieve ontwerp, de strakke vorm, een smaller magneetveld (dan

de traditionele vakwerkmast) en de flexibiliteit in gebruik. Een Wintrackmast bestaat uit twee pylonen, waaraan de hoogspanningsdraden worden opgehangen. De slanke en spits toelopende palen staan op het oog los van elkaar. De mast is onderhoudsarm dankzij de gladde structuur.

De eerste twee generaties zijn toegepast voor de Randstad 150/380 kV-zuid- en noordring, het Nederlandse deel van de 150/380 kV-interconnector Doetinchem-Wesel. Op dit moment wordt de 3e generatie Wintrackmasten gerealiseerd van de 380 kV-verbinding Eemshaven-Vierverlaten en de 380 kV-verbinding tussen Rilland en Borssele (Zeeland). In deze generatie zijn *lessons learned* vanuit de eerste twee meegenomen en zijn onder andere de stijfheidseisen aan de masten scherper gesteld. In deze nieuwe projecten wordt voor het eerst de zwaarste mastfamilie (W6), voor de 4-circuit 380 kV-verbindingen, toegepast.

de verbinding bij een hoogspanningsstation. Deze masten worden eenzijdig belast door het éénzijdig afspannen van geleiders.

Op de testlocatie in Geertruidenberg zijn twee representatieve Wintrackmasten getest:
– de zwaarst voorkomende hoekmast HM400;
– de veelvoorkomende steunmast S350.

Dit zijn masten van uit zwaarste mastfamilie W6 (2-circuit 380kV per pylloon), deze mastfamilie is nog niet in eerder toegepast. De ontwerpen van alle masten en onderliggende families en masttypen zijn op basis van dezelfde eisen gemaakt met gelijke ontwerpprincipes, tools en modelleringen.

Ontwerpeisen

De algemene ontwerpeisen voor hoogspanningslijnen zijn vastgelegd in EN-50341-1. De nationaal bepaalde parameters, zoals wind, ijs, bijzondere belastingen en belastingcombinaties, voor het ontwerpen van hoogspanningsverbindingen in Nederland zijn vastgelegd in de onderliggende productnorm NEN-EN 50341-2-15. In deze productnorm zijn ook eisen opgenomen aanvullend op NEN-EN 1990 en de Nationale Bijlage. NEN-EN 50341-2-15 omschrijft de belas-

tinggevallen voor de uiterste grenstoestand en de bruikbaarheidsgrenstoestand met de bijbehorende partiële en combinatiefactoren specifiek voor de steun-, hoek- en eindmasten. Voor de belastingen op de mast zijn algemene uitgangspunten van toepassing:
– gevolklasse CC2;
– referentieperiode 50 jaar;
– windgebied II;
– ijsgebied A of B, afhankelijk van de locatie.

Naast de voorgeschreven belastingen dient het ontwerp te voldoen aan architectonische eisen en norm-overstijgende eisen, zoals door TenneT ontwikkeld.

Testopstelling

De testlocatie is al een oefenlocatie voor de beheer- en onderhoudsorganisatie van TenneT en verschillende leveranciers. Na de testen zullen de masten ook gebruikt worden voor trainingsdoeleinden voor onder andere onderhoudspersoneel en hulpdiensten.

Tussen de twee te testen masten is een hulpmast (type S350) geplaatst om de horizontale belastingen op de te testen mast te kunnen simuleren en vervolgens te verankeren aan de fundering van de andere testmast. De maststanden zijn ongeveer 60 m. De belasting wordt



2. Testen uithouders. Close-up onder.



3. Meetsensoren rondom uithouder.

aangebracht met trekdraden die lopen over katrollen in de 'tussen'-steunmast (afb. 1). Deze draden worden afgespannen op het fundament van de buitenste steunmast bij beproevingen van de hoekmast en op het fundament van de hoekmast bij beproevingen van de steunmast. Tijdens beproeving van de HM400 moest de tussensteunmast versterkt worden met tuien (oranje spanbanden, afb. 1). De belasting op de masten wordt ingeleid via een strop.

Testen uithouders en traversen

Bij de uitvoering van de testen op de uithouders en de traversen worden de horizontale en verticale belasting ingeleid op het bevestigingspunt van de betreffende geleider of draad aan het einde van de uithouder of traverse. Voor de horizontale belasting wordt – nogmaals – de middelste mast als tussensteunpunt gebruikt (afb. 2), waarbij het fundament van de niet te testen mast wordt gebruikt om op af te spannen. Voor de testen van de traversen en uithouders wordt de belasting aangebracht op de bevestigingspunten waaraan uiteindelijk ook de isolatoren zullen worden bevestigd.

Testen mastlichaam

Voor de testen van het mastlichaam, inclusief de voetplaat- en flensverbindingen, wordt

de belasting op drie niveaus aangebracht ter hoogte van de traversen. De belastingen op de bovenste traverse en de wind op het mastlichaam zijn hierin verdisconteerd. Dit is zodanig gebeurd dat de momenten in het gedeelte van het mastlichaam van voetplaat tot en met de eerste flensdeling op ± 20 m hoogte overeenkomen met de maatgevende belasting volgens de ontwerpberekeningen.

Meetmiddelen

Om het mastgedrag tijdens het testen vast te leggen zijn meerdere parameters gemeten, zoals rekken, verplaatsingen, flensopeningen en bout- en ankerkrachten. De waarden van deze parameters worden minimaal één keer per seconde met dataloggers geregistreerd. Verder zijn onafhankelijk van de statische testen ook trillingsmetingen uitgevoerd voor het bepalen van de eerste eigenfrequenties van de masten.

In afbeelding 4 zijn de sensoren rondom de deur en ankerplaat van de steunmast te zien. Onder de grijze vlakken op de mast zijn reksensoren geplakt. Bij de drie bouten voor de deur van de mast zijn de boutsensoren onder de moeren zichtbaar. In tabel 1 is de nauwkeurigheid weergegeven van de toegepaste sensoren bij de uitvoering van de testen.

Rekstroken

Voor alle rekstrookmetingen, inclusief registratie van meetwaarden, zijn glasvezelarrays van HBM (Moordrecht) gebruikt. Bij deze glasvezelarrays zijn meerdere reksensoren in een reeks verbonden. Dit heeft als voordeel dat er relatief weinig bekabeling nodig is.

Lierkrachten

Voor het meten van trekkrachten in lieren en tuien is gebruikgemaakt van trekkrachtopnemers van het fabricaat Straightpoint. De krachtopnemers zijn geplaatst direct aan de aangrijpingspunten aan de masten, zodat eventuele wrijvingsverliezen over het tussensteunpunt niet worden meegenomen. De lierkrachten worden draadloos uitgelezen.

Boutkrachten

Voor het meten van boutkrachten wordt gebruikgemaakt van druksensoren tussen de moeren van Hytorc Boltsafe. Deze druksen-



4. Meetsensoren deuropening. De gele ankerpunten zijn gebruikt voor de lieren bij de test van de hoekmast.

soren zijn bij de installatie van de masten al aangebracht en onder andere gebruikt om de aandraaimomenten van de bouten te registreren. Voor de testen worden de druksensoren uitgelezen door een PLC en laptop met registratiesoftware. Enkele druksensoren bleken storingen te vertonen en konden niet worden uitgelezen. Voor de boutkrachten zijn per locatie meerdere druksensoren aangebracht en was er voldoende redundantie.

Flensopeningen

De flens en de ankerplaat zijn in principe dichtgedrukt door de voorspanning in de voorspanbouten. Tijdens de testen is de verplaatsing tussen de flensdelen en de ankerplaat ten opzichte van de fundering gemeten met LDVT-verplaatsingsopnemers.

Verplaatsingen

Voor het meten van de verplaatsingen van de masten is gebruikgemaakt van een totalstation Trimble SX10. De SX10 combineert een nauwkeurige Total Station met een high speed 3D-scanner in één instrument. De SX10 beschikt over drie HDR-camera's met VISION-technologie. Hiertoe zijn, volgens een vooraf opgezet plan, prisma's geplaatst op meerdere posities op de mast en de te beproeven onderdelen. De verplaatsin-

gen zijn separaat gelogd op de totalstation. Per componenttest zijn er nog aanvullende prisma's geplaatst voor het meten van de verplaatsingen van de desbetreffende component.

Trillingsopnemers

Voor het bepalen van de eigenfrequentie van de steun- en de hoekmast zijn trillingsopnemers geplaatst. De meetwaarden hiervan zijn door een separate datalogger geregistreerd.

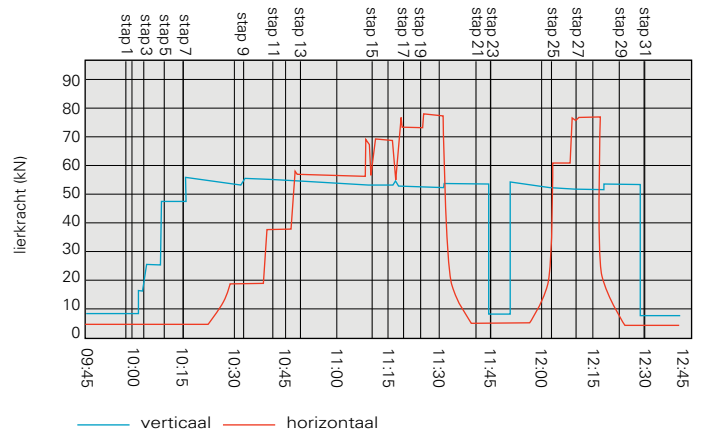
Componenttesten uithouders en travesen

In totaal zijn zeven componenttesten aan de uithouders/traversen uitgevoerd, vier bij de steunmast en drie bij de hoekmast. Deze testen zijn uitgevoerd voor de maatgevende belastingcombinatie (Uiterste Grenstoestand, UGT X). Dit is een speciale uiterste grenstoestand, waarbij aan één zijde van de uithouder/traverse de betreffende afgespannen geleider of draad gebroken is. De testcriteria zijn als volgt.

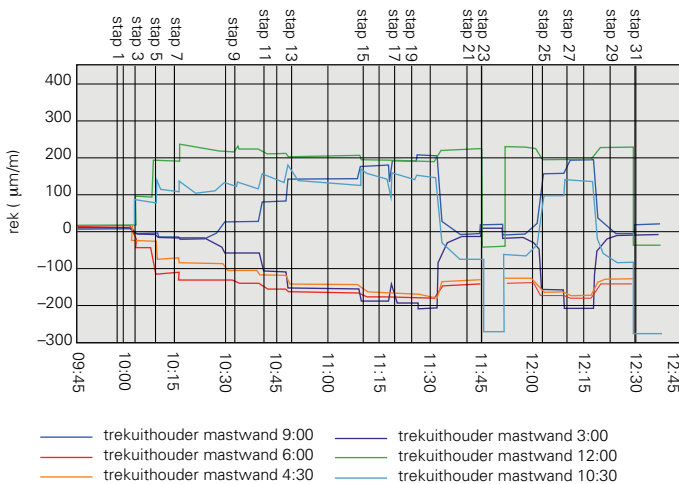
- Na belasten tot 1,0-UGT X en vervolgens ontlasten tot 0 mogen geen blijvende vervormingen en plastische deformaties zijn opgetreden bij de aansluiting van uithouder/traverse met het mastlichaam en de uithouder/traverse zelf.



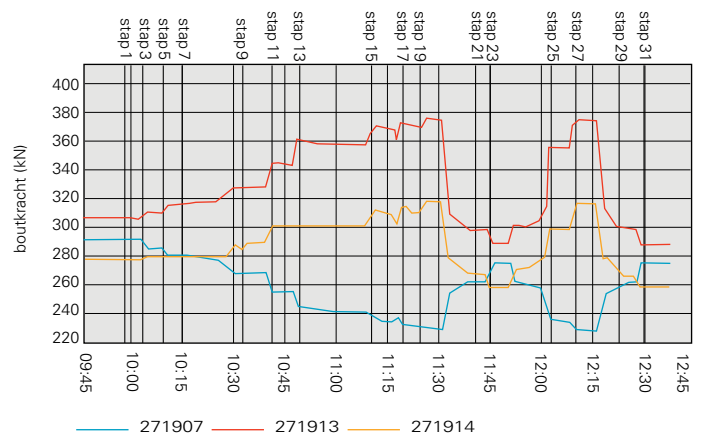
5. Controlecentrum.



6. Lierkrachten tijdens testen trekuithouder op de steunmast.



7. Rekken mastwand tijdens test uithouder steunmast.



8. Boutkrachten tijdens test uithouder.

- Bij belasten tot 1,0-UGT X bij de bevestiging van geleider of draad mag er geen blijvende vervorming optreden.
- In geval van een flensverbinding is geen flensopening toegestaan bij belasten tot 1,0-UGT X.

Daarnaast worden op specifieke locaties van de verbinding van uithouders/traversen met het mastlichaam rekken ofwel spanningen gemeten, met als doel om de FEM-analyses te valideren.

In dit artikel worden de resultaten gepresenteerd van de test op de zogenoemde trekuithouder van de steunmast. Deze test is uitgevoerd op de onderste trekuithouder. Op de overige uithouders wordt deze test niet noodzakelijk geacht, omdat uit de FEM-ana-

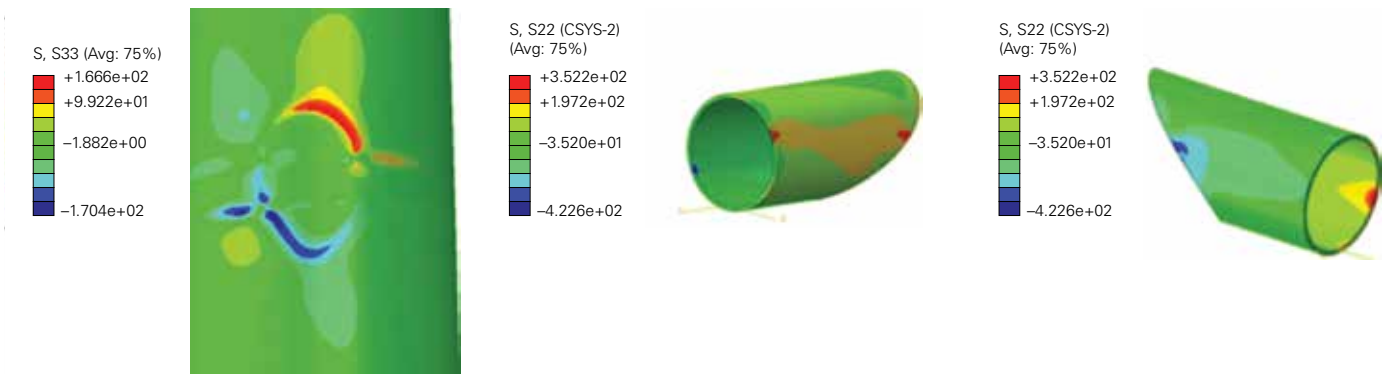
lyses blijkt dat de optredend materiaalspanning bij de maatgevende ULS-belasting lager is dan bij de onderste trekuithouder. Bij de aansluiting op de mast is de mastdiameter het grootst bij de onderste traverse. Tijdens de test is de belasting eerst opgevoerd tot 25% en vervolgens is de trekuithouder weer zoveel mogelijk ontlast. Daarna is de belasting stapsgewijs opgevoerd tot 1,0-UGT (50%, 75%, 90%, 95% en 100%), waarbij deze minimaal 5 minuten is aangehouden bij ieder belastingniveau. Tot slot is de belasting teruggebracht naar 0. Na iedere belastingstap zijn rekmetingen geregistreerd op de locatie als aangegeven in afbeelding 3. Ter informatie zijn ook de vervorming aan het eind van de trekuithouder gemeten om te vergelijken met de globale mastberekening.

Tijdens de testen kwam alle meetdata real-time binnen in een meetcentrum. Hier kon het verloop van de testen nauwgezet worden gevolgt, beoordeeld en waar nodig bijgestuurd (afb. 5).

Meetresultaten

De trekuithouder wordt met een variërende verticale en horizontale belasting getest in verschillende stappen. Per belastingstap wordt minimaal 5 minuten gewacht om tot een stabiele krachtsituatie te komen. In afbeelding 6 zijn de gemeten lierkrachten weergegeven. De verticale lijnen geven de verschillende belastingstappen volgens het draaiboek aan.

De trekuithouder is rechtstreeks aan de mastwand gelast zonder verstevigingsplaat. Het



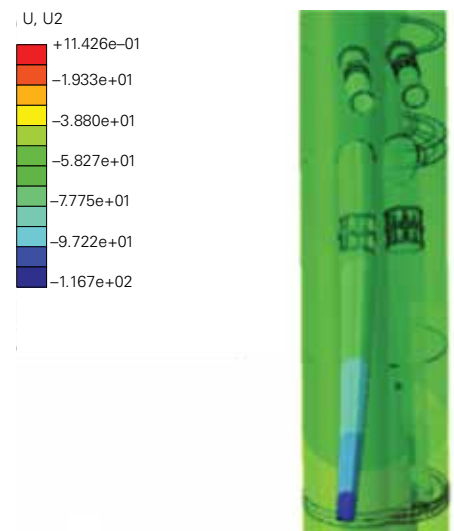
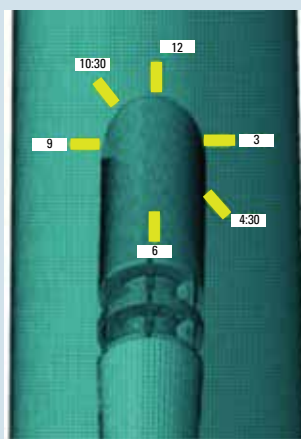
9. Spanningsverdeling bij aansluiting trekuithouder.

Tabel 1. Nauwkeurigheid sensoren.

grootheid	fabricaat	totale nauwkeurigheid
verplaatsingen	Totalstation Trimble SX10	1 mm + 1,5 ppm
lierkrachten	straightpoint radiolink plus	0,3% bij 21 °C
rekstroken glasvezel	FS62RSS/HMB FS22SI	1 µm/m
boutkrachten	Boltsafe	5% Fs
flensopeningen	HBM MX840 WA (TEDS)	40 µm

Tabel 2. Vergelijking van de berekende en gemeten spanningen.

	locatie	metingen (MPa)	simulatie (MPa)	afwijking (%)
mast	12	61		2
	3	58,2	60	-3
	04:30	50,5	55	-9
	6	52,1	54	-23
	9	53	56	-28
	10:30	47,4	44	7
trekuithouder	12	8	11	-38
	3	137,8	140	1,5
	04:30	243,5	246	1
	6	68	69	1
	9	157	166	-5
	10:30	28	32	-14



10. Verplaatsingen bij trekuithouder.

Tabel 3. Vergelijking van de berekende en gemeten verplaatsingen.

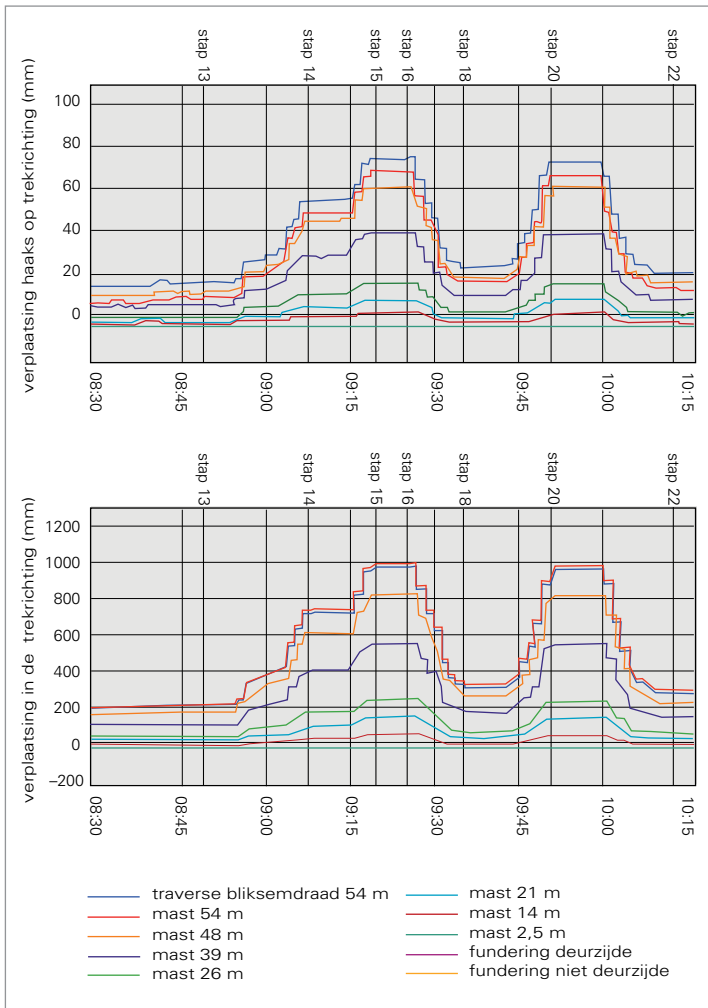
	verplaatsing (mm)	
	mast	trekuithouder
meting	60	100
simulatie	65	116

Tabel 4. Overzicht eigenfrequenties (Hz).

modi	gemeten	berekend
1	1,17	1,00
2	4,12	3,58
3	12,56	8,00

Tabel 5. Vergelijking van gemeten en berekende axiale spanningsverdeling (MPa) op drie locatie rondom de deuropening.

	gemeten spanning	berekende spanning (druk)
buiten boven de deur links	294	279
binnen boven deur midden	245	222
buiten onder de deur rechts	283	258

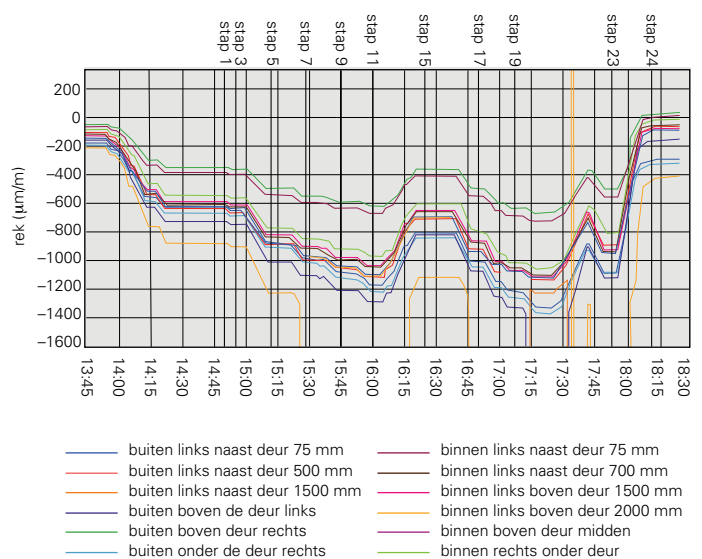


11. Verplaatsingen.

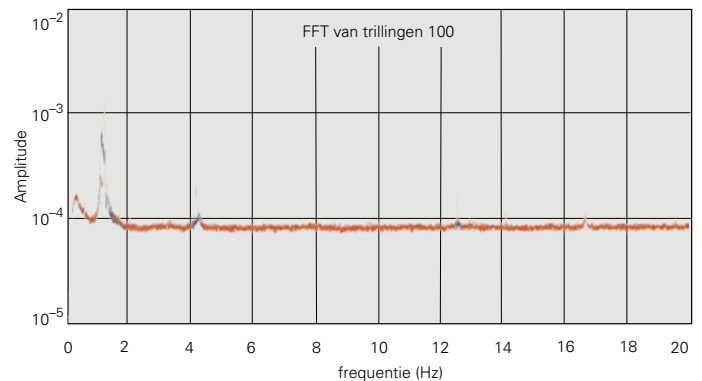
verlengstuk van de uithouder wordt verbonden met het aan de mast gelaste onderdeel met geboude verbindingen (zogenoemde diablo). De spanningen rondom de gelaste verbinding met de mast is op zes locaties op de mastwand en zes locaties op de trekuithouder te meten, zo dicht mogelijk bij de laswortel, rekening houdend met de lengte van de rekstrook en bekabeling. Hierdoor komen de rekstroken op gemiddeld 10 cm van de verbinding te zitten. Daarnaast zijn metingen uitgevoerd op een verstijvingsschot van de diablo-verbinding. *Afbeelding 7* toont de rekken van de rekstroken op de mastwand rondom de trekuithouder. De gemeten krachten in de voorspanbouten zijn in *afbeelding 8* weergegeven.

Validatie met berekeningen

De simulatieresultaten van één van de componenttesten staan geïllustreerd in *afbeelding 9*. Het betreft de aansluiting van de trekuithouder aan het mastlichaam van de steunmast NWW6S350UY. Aangezien de rekstrookjes de spanning meten in hun lokale coördinaat, wordt de spanningscomponent in de toren geïllustreerd volgens de globale coördinaat van het model en worden de spanningen in de trekuithouder afgestemd op de lokale coördinaat van de trekuithouder. De uitkomsten van de meting en simulatie worden vergeleken in *tabel 2*. De meetresultaten en simulatieresultaten komen over het algemeen overeen. Relatief grote afwijkingen komen voor op locaties waar de spanningen laag zijn.



12. Rekken rondom deur.



13. Resultaat trillingsmetingen om eigenfrequenties van de mast te bepalen.

De verplaatsing is gemeten op 51 m hoogte en het uiteinde van de trekuithouder. *Afbeelding 10* toont ook de verplaatsing in het FEM-model. Zowel de gemeten als gesimuleerde resultaten worden getoond en vergeleken in *tabel 3*. De verplaatsing in het FE-model is iets hoger dan gemeten bij de test. Dat zou kunnen komen door de extra gelaste componenten in de mast en bij de verbinding in de trekuithouder die de stijfheid van de constructie verhoogt.

Masttesten vervormingen

De vervorming van de mast is getoetst voor de dagelijkse gebruiksbelasting (Every Day Stress (EDS)) en de maatgevende belastingcombinatie voor de bruikbaarheidsgrenstoe-

stand (BGT X). Het doel van de uitgevoerde testen is om aan te tonen dat:

- de uitwijking en kromming bij belastingcombinaties EDS en BGT van het mastlichaam voldoen aan de gestelde eisen;
- er geen verlies van drukcontact bij de voetplaat- en flensverbindingen optreedt bij 1,0-BGT X;
- er na belasten tot 1,0-SLS X en vervolgens ontlasten tot 0 geen blijvende vervormingen in het mastlichaam optreden.

Daarnaast wordt aanvullend getoetst:

- of de uitwijking en de kromming van het mastlichaam bij EDS en 1,0-SLS X overeenkomen met de berekeningen;
- dat er na drie keer variëren tussen 0 en 1,0-SLS X geen blijvende vervorming is bij de flensverbindingen en de voetplaat.

Bij de vervormingstesten is het aandeel van de fundatie in de vervorming apart geregistreerd, zodat hiermee het rekenmodel voor de stijfheid van het fundament kon worden gevalideerd.

De belasting is eerst opgevoerd tot 50% en vervolgens weer ontlast. Daarna wordt de belasting stapsgewijs opgevoerd tot EDS (75%, 100%) en vervolgens stapsgewijs naar 1,0-SLS X (50%, 75%, 90%, 95% (optioneel) en 100%). Daarna is dit twee maal gevarieerd tussen 1,0-SLS X en 0. De belasting is minimaal 5 minuten aangehouden bij ieder belastingniveau. Na iedere stap zijn de vervormingen geregistreerd. Op acht niveaus verdeeld over het mastlichaam vanaf fundatie tot aan de top van de mast is de vervorming (verplaatsing) geregistreerd.

Meetresultaten 1

In *afbeelding 11* zijn de gemeten verplaatsingen geïllustreerd gedurende de gehele BGT-testcyclus. Opgemerkt wordt dat bij de verplaatsingen de rotatiestijfheid van het fundament een rol speelt. Voor steunmast NWW6S350UY zijn de locatie-specifieke boven- en ondergrens van de rotatiestijfheid bepaald. Voor beide situaties zijn de vervormingen berekend voor de BGT-test. De ondergrens van de topverplaatsing is berekend op 956 mm en de bovengrens op 1023 mm. De gemeten waarde lag daartussenin: 975 mm.



Testen belastbaarheid

De belastbaarheid van het mastlichaam wordt getoetst voor de maatgevende belastingcombinatie UGT Y. Het doel van deze test is om aan te tonen dat er na belasten tot 1,0-ULS Y en vervolgens ontlasten tot 0 geen blijvende vervormingen of plastische deformatie van het mastlichaam, de flenzen, de voetplaat en rondom de deuropeningen optreden. Om het gedrag bij de deuropening goed te kunnen testen, dient deze aan de drukzijde (tijdens de test) te worden gepositioneerd. Aanvullend is getoetst of de uitwijking en kromming van het mastlichaam bij 1,2-SLS Y overeenkomt met de uitgevoerde berekeningen. Na afronding van de vervormingstest wordt de belasting stapsgewijs opgevoerd tot 1,2-BGT Y (75%, 90%, 95% en 100%), waarna de belasting stapsgewijs wordt opgevoerd naar 1,0-UGT Y (95% en 100%). Na iedere stap worden de vervormingen en de rekmetingen geregistreerd.

Meetresultaten 2

Het lichaam van de hoekmast is met zes lieren op drie verschillende aangrijphoogtes belast tot aan ULS. In het draaiboek is opgenomen met welke kracht welke lier belast moet worden per belastingstap. Na iedere stap worden de vervormingen geregistreerd. De vervorming (verplaatsing) is geregistreerd op verschillende hoogtes zoals aangegeven in het meetoverzicht.

De locaties van de rekstrookmetingen aan het mastlichaam staan net (0,5 m) boven het verdikte gedeelte met de deuropening en op een tussenliggende hoogte tussen de twee flensverbindingen.

Bij flensverbindingen zijn zo dicht mogelijk bij de las aan de binnen- en buitenzijde metingen uitgevoerd, zowel aan de druk- als aan de trekzijde. Ook is bij zes bouten (drie aan

de trekzijde en drie aan de drukzijde) in de flensverbinding de boutkracht gemeten.

Daarnaast zijn twee sensoren aan de trekzijde van de flenzen geplaatst om vast te stellen of de flenzen gesloten blijven.

De gedeeltes rondom de deuropening en net boven de wandverdikking zijn de meest kritieke gebieden. Zie *afbeelding 4* met de aangebrachte rekstrookjes op de meest kritische gebieden rondom de deuropening. De meetresultaten en simulatieresultaten komen over het algemeen voldoende overeen. *Afbeelding 12* illustreert de gemeten rekken rondom de deur gedurende de gehele testcyclus. Daaruit is afgeleid dat er geen blijvende plastische vervormingen van de mastconstructie zijn vastgesteld.

In *tabel 5* zijn de gemeten spanningen en de berekende axiale spanningen op drie locaties rondom de deur naast elkaar gezet. Hieruit blijkt dat de meetresultaten en de simulatieresultaten goed overeenkomen.

Testen dynamisch gedrag

De trillingsmetingen zijn uitgevoerd om de eigenfrequentie van de mast te bepalen van de verschillende modi van de hoekmast. De verificatie van de berekende eigenfrequenties is van belang omdat deze geen interactie mogen hebben met de frequenties die optreden bij vortex shedding en lijndansen en de eerste twee grondharmonischen van de geleiderbundels en bliksemraden.

De resultaten zijn geanalyseerd met een FFT waarmee de amplitude bij elke frequentie berekend wordt. Een typerend voorbeeld van de resultaten (van 2 november) staat in *afbeelding 13*. Hieruit valt af te leiden dat de eerste drie eigenfrequenties nagenoeg gelijk zijn tussen de twee kanalen. Deze eerste drie eigenfrequenties van de steunmast staan in *tabel 4*. •