

Lutningsgivaren som förstår byggnadens hälsa



I takt med att den tekniska utvecklingen gör det möjligt att bygga på nya sätt ökar vårt beroende av alltmer exakt teknik för mätning, byggande och fortsatt underhåll av våra hem och omgivande infrastruktur. Oavsett om vi talar om skyskrapor, omfattande tunnel- och brosystem eller bostadshus på platser som är utsatta för sättningar, spelar sensorteknik som lutningsgivare en avgörande roll för att garantera vår säkerhet. Dessutom blir extrema väderförhållanden allt vanligare vilket bidrar till att vi behöver en ny generation sensorer som ger en tydligare bild av de ingående delarna. Sådana innovativa, mindre och samtidigt mer högpresterande enheter kan ge en större insikt, vilket inte bara har betydelse för övervakningen av byggnaden (Structural Health Monitoring, SHM) utan även i bredare tillämpningar som verktyg för byggnation och i positioneringssystem.

SHM, ELLER MER SPECIFIKT den geotekniska instrumentering som används för SHM, spelar en viktig roll inom anläggningsindustrin. Historiskt sett har bedömningen av en byggnads hållfasthet gjorts genom visuella analyser eller förstörande provning av små delar av konstruktionen. I båda fallen ligger man ofta steget efter och undersökningarna utförs vanligtvis när en visuell indikation på ett problem har uppstått. De data som kontinuerligt tillhandahålls av SHM-sensorer kan revolutionera dessa processer och göra det möjligt att i realtid övervaka en byggnads rörelser så att små förändringar i den mekaniska strukturen identifieras innan de kan utvecklas till ett större problem. Förutom att förhindra potentiella fel kan sådana sensorer spara avsevärda underhållskostnader och tid, eftersom de som är ansvariga för underhåll kan bedöma situationen snabbare och ibland på distans. År 2022 var SHM-marknaden värd 2,0 miljarder dollar. Men i takt med att anläggningsbranschen fortsätter att lägga större vikt vid kvantifierbara sensorer och tekniska framsteg förväntas marknaden växa till 4,0 miljarder dollar år 2027.

Inför starten av ett nytt bygge används instrument som vibrationssensorer, inklinome-

trar/lutningsmätare och totalstationer för att det ska gå att analysera de lokala förhållandena. Data som samlas in kan utnyttjas för att bestämma markens styrka och stabilitet, med en förståelse för storheter som portryck, markens permeabilitet och släntstabilitet, vilka är avgörande för alla tekniska konstruktioner. För stadsbyggnader som höghus är det viktigt att förstå markens hållfasthet för att kunna konstruera fundamenten och i slutändan bestämma byggnadens maximala storlek. I områden som är utsatta för plötsliga variationer, som i närheten av förkastningslinjer eller vid jordskred och översvämningar, är det viktigt att förstå eventuella rörelser i marken så att lämpliga tekniska åtgärder kan vidtas för att kompensera för dem.

DEN GEOTEKNISKA INSTRUMENTERINGEN har en viktig roll som sträcker sig längre än till förberedande mätningar. Under byggprocessen kan strategiskt placerade sensorer i grunden på en byggnad göra det möjligt att validera konstruktionen i realtid. Allteftersom bygget fortskrider inhämtas data från ett plan eller utvalda punkter vilka jämförs med konstruktionsritningen eller en digital tvilling. Om de uppmätta värdena överstiger fördefinierade gränser kan ändringar göras innan projektet är slutfört, så att konstruktionens säkerhet bibehålls och byggkostnaderna minskar.

Den viktigaste tillämpningen av geoteknisk instrumentering är utan tvekan underhåll av byggnader. För megastrukturer som världens högsta byggnad, Burj Khalifa, eller Öresundsbron, Europas längsta bro med en konstgjord ö och en 270 meter tunnel i vardera änden, är kontinuerlig övervakning av strukturen avgörande för en säker an-



Ett traditionellt vattenpass som används för att visuellt bestämma lutningen.

Av Juhani Pelttari och Antti Miettinen, Murata Electronics

Juhani Pelttari är affärsutvecklare på Murata Electronics med ansvar för de mikrome-kaniska tröghetsensorerna till industrisektorn. Arbetet omfattar allt från gruvborrar till rymdinstrument.



Antti Miettinen är produktchef på Murata Electronics med ansvar för företagets mikro-mekaniska accelerometrar till fordonsområdet och industritillämpningar.



vändning. I sådana konstruktioner används sensorer för att upptäcka små förändringar i lutning eller förskjutning som kan visa på förändringar i den mekaniska strukturen. Genom att analysera insamlade data kan man avgöra hur viktiga dessa förändringar är och om de är en del av en byggnads naturliga förändringar eller om åtgärder behövs.

Nästa generation av inklinometrar

En teknik som är central för SHM-aktiviteter är inklinometern – en anordning som anger lutningsvinkeln eller böjningen relativt en fast punkt. Dessa mätinstrument har funnits länge, ursprungligen som enkla pendlar med visuella skalor, men nya digitala och mikromekaniska sensorer ger bättre precision och tillförlitlighet. Ett företag som förstår kraven är Murata. Deras senaste produkt, inklinometern SCL3400, har utvecklats och tillverkas av företagets MEMS-center i Finland. Den är resultatet av över 30 års expertis och samarbete med ledande kunder inom fordons-, anläggnings-, medicin- och industribranschen.

SCL3400 bygger på det existerande sortimentet av analoga enaxliga inklinometrar och är en förbättring i alla avseenden, med



Öresundsbron mellan Sverige och Danmark.

en tvåaxlig design och två valbara mätlägen. Det mer känsliga $\pm 30^\circ$ -området med 10 Hz mätbandbredd är perfekt för att fånga upp små deformationer där absolut noggrannhet krävs, som för SHM. Medan $\pm 90^\circ$ -läget med 40 Hz är perfekt för applikationer med större böjningar, som digitala vattenpass.

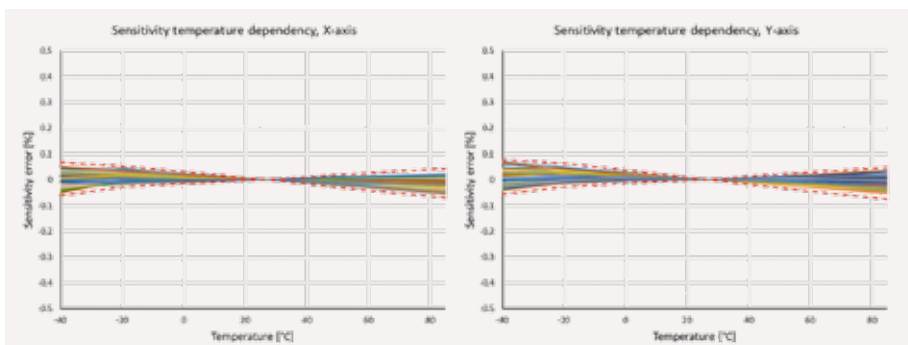
SCL3400 har en extremt lågt brus för högsta möjliga mätupplösning.

En aspekt som har stor inverkan på effektiviteten hos SHM är kostnaden för installation och löpande underhåll av sensorerna, inklusive kalibrering och utbyte om enheten skulle gå sönder. För applikationer som vindkraftsparkar till havs kan underhållskostnaderna stå för upp till 30 procent av det totala projektet. Här kan en väl designad och robust sensor spara mycket arbete genom att detektera potentiella problem innan de utvecklas och orsakar katastrofala skador. Men om någon sensor skulle visa sig vara

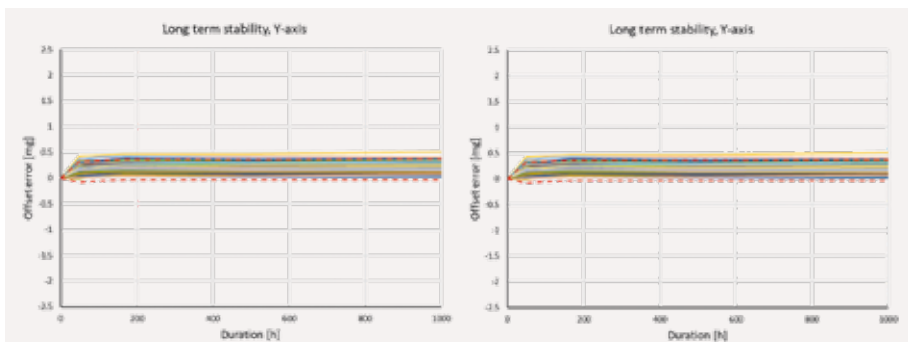
opålitlig krävs otaliga resor till offshore-anläggningar för att snabbt byta ut dem att utgöra en betydande kostnad, vilket raderar ut alla besparingar. Att förstå och uppfylla de krav på robusthet och långsiktig tillförlitlighet som många moderna applikationer kräver är något som Murata har prioriterat med SCL3400, som har klassens bästa stabilitet. Det breda arbetstemperaturområdet -40°C till $+85^\circ\text{C}$ ger otroligt snäva offsetavvikelser även under extrema förhållanden.

Förutom hög termisk stabilitet har SCL3400 också utmärkt långtidsstabilitet, vilket visas i figuren nedan. Graferna visar mät noggrannheten under ett 1000-timmars HTOL-test (High-Temperature Operating Life). SCL3400 har ett extremt lågt offsetfel, med en offsetdrift under livstiden som normalt är lägre än 0,12°.

I kombination med termisk stabilitet och robusthet över lång tid bör moderna SHM-enheter ha ett minimalt kalibreringsbehov.



Inklinometers typiska känslighet för temperatur i felprocent.



Inklinometers långtidsstabilitet mätt som 1000h HTOL (temperatur $+85^\circ\text{C}$ och matningsspänning 3,6V, mätförhållanden $+25^\circ\text{C}$). De streckade linjerna visar $\pm 3\sigma$ -variationen i populationen.

Muratas SCL3400 kräver endast en inledande fabrikskalibrering, med en valfri offsetkalibrering (nollställning) på systemnivå efter montering i applikationer som kräver högsta möjliga noggrannhet. När enheten väl är installerad, oavsett om den mäter böjning på en bro eller i ett positionsstyrningssystem, behövs ingen ytterligare kalibrering, vilket minimerar framtida underhållskostnader för systemet. Att ta bort kalibreringsbehovet innebär en avsevärd skillnad för givare som installeras på svåråtkomliga platser som i byggnadsfundament eller stålkonstruktioner.

DEN LILLA 12-POLIGA, ingjutna och ytmonterade komponenten på $8,6 \times 7,6 \times 3,3 \text{ mm}$ är enkel att integrera och den låga strömförbrukningen på 2 mA passar i innovativa batteridriva applikationer med krav på låg strömförbrukning som handverktyg och bärbara SHM-givare. SCL3400 kan också anslutas till en rad olika databussar och har avancerade självdiagnostikfunktioner, vilket ytterligare förenklar integration och drift.

I takt med att extrema väderförhållanden blir allt vanligare och därmed orsakar mer skador på infrastrukturen, kommer robusta inklinometerlösningar att spela en viktig roll. SCL3400:s robusta konstruktion är idealisk för övervakning av strukturella förändringar i broar, tunnlar och byggnader, den klarar tuffa förhållanden även under längre perioder.

Utöver SHM-tillämpningar kan robusta digitala inklinometrar med hög noggrannhet också ge ökad prestanda i en mängd olika tillämpningar, som byggnation och motoruppriktning. Några exempel är roterande lasrar, digitala vattenpass och mätinstrument med hög noggrannhet och mätstabilitet. Om vi tittar på ett traditionellt vattenpass, som använder en bubbla för visuell indikering, beror noggrannheten på användarens förmåga att läsa av den. Med digitala vattenpass ersätts bubblan med en enkel sifferavläsning.

BEFINTLIGA SHM- OCH geotekniska sensorer spelar redan en avgörande roll för att säkerställa säkerheten och livslängden för många byggprojekt världen över. Fördelarna med sådana sensorer är redan välkända inom branschen, men det har funnits ett behov av ytterligare innovation för att öka noggrannheten och minska underhåll och kalibrering. När nästa generations sensorer uppfyller dessa krav, samtidigt som de är mer kostnadseffektiva, kommer de att användas i allt fler byggprojekt och i bredare tillämpningar. Den precision och tillförlitlighet som levereras av nya sensorer, som Muratas SCL3400, i kombination med innovativ datainsamling i realtid och djupgående analysverktyg, utgör ett kraftfullt SHM-verktyg som kan revolutionera hur byggnader övervakas. I takt med att vår infrastruktur påverkas allt mer av extremväder och att byggprojekten strävar efter ökad hållbarhet kommer sådana SHM-verktyg att bli en integrerad del av varje anläggningsprojekt. ■