

Rapport

Mulig metode for tidlig deteksjon av hørselstap

Eksempler på bruk av prosesskontrollmetoder på hørselsdata fra SLASH

Forfattere

Truls Gjestland
Tron V Tronstad
Olav Kvaløy



SINTEF IKT

Postadresse:
Postboks 4760 Sluppen
7465 Trondheim

Sentralbord: 73593000
Telefaks: 73594302

postmottak.ikt@sintef.no
www.sintef.no
Foretaksregister:
NO 948 007 029 MVA

Rapport

Mulig metode for tidlig deteksjon av hørselstap

Eksempler på bruk av prosesskontrollmetoder på hørselsdata fra SLASH

EMNEORD:
Hørselstest
Terskelskift

VERSJON
1.4

DATO
2016-10-01

FORFATTERE
Truls T Gjestland
Tron V Tronstad
Olav Kvaløy

OPPDRAGSGIVER(E)
Norges forskningsråd og Statoil

OPPDRAGSGIVERS REF.
NFR: 220667/E30
Statoil 4502603154

PROSJEKTNR
102002425

ANTALL SIDER
28

SAMMENDRAG

Rapporten viser en mulig analysemetode for å detektere begynnende hørselstap blant støyeksponte arbeidere. Metoden er demonstrert på utdrag av reelle målinger av eksponerings- og hørselsdata som er samlet inn i prosjektet NEXT STEP. Resultatene viser at med riktig valg av kontrollparametre, er det mulig å oppdage små permanente endringer i høreterskelen i størrelsesorden 3-5 dB ganske kort tid etter at endringen har inntruffet.

UTARBEIDET AV
Truls Gjestland

KONTROLLERT AV
Herold Olsen

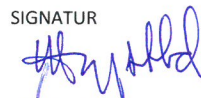
GODKJENT AV
Odd K Ø Pettersen

RAPPORTNR
SINTEF A27862


ISBN
978-82-14-06136-9

GRADERING
Åpen

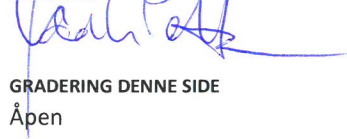
SIGNATUR



SIGNATUR



SIGNATUR



GRADERING DENNE SIDE
Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.1	2016-07-04	Nytt dokument
1.2	2016-07-07	En del oppklarende kommentarer
1.3	2016-08-29	Omskriving etter innspill fra medlemmer av styringskomitéen
1.4	2016-10-01	Justert tekst etter behandling på møte i styringskomitéen

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	4
2	NEWT – hvordan virker den?	4
3	Analyse av hørselsdata	5
3.1	Statistisk prosesskontroll	5
3.2	Valg av metode	6
4	Automatisk grovsortering (screening)	7
5	Eksempler med reelle dataserier fra SLASH	8
5.1	Valg av kontrollgrenser	9
5.2	Eksempel nr 1	10
5.3	Eksempel nr 2	13
5.4	Eksempel nr 3	17
5.5	Eksempel nr 4	20
5.6	Eksempel nr 5	24
6	Konklusjon og videre arbeid	27

1 Innledning

NEXT STEP er et KPN-prosjekt finansiert i fellesskap av Statoil og Norges forskningsråd. Den overordnede målsetningen med prosjektet er å studere sammenhenger mellom støyeksponering og hørselsskade. En viktig aktivitet i prosjektet har vært å samle inn eksponerings- og hørselsdata blant en del utvalgte grupper arbeidere på noen av Statoils offshore installasjoner. En versjon av hørselsvernet QuietPro, som produseres av Honeywell, har vært benyttet til dette formålet. Utstyret har gjennomgått visse modifikasjoner underveis i prosjektet, men disse har ikke hatt noen praktisk betydning for de dataene som er samlet inn. Av praktiske grunner har vi i denne rapporten bare omtalt utstyret som "QP" uten å ta hensyn til type og versjonsnummer. De innsamlede data lagres i databasen SLASH (**S**ystem for **l**agring av **st**øy og **h**ørsels**d**ata). Dette er en database som ble utviklet i et tidligere prosjektsamarbeid mellom Statoil og SINTEF. Data fra SLASH benyttes blant annet for å teste teorier og metoder som er utviklet i prosjektet.

Hørselsvernet QP er programmert for å kunne foreta en forenklet hørselstest, opprinnelig kalt *NEWT* (New Early Warning Test). Hørselstesten omtales nå som *QP hørselstest* i utstyret som leveres fra Honeywell. (I denne rapporten har vi imidlertid beholdt betegnelsen *NEWT*). Testen kan gjennomføres i løpet av noen få minutter. Dersom denne funksjonen aktiveres jevnlig, vil man derfor kunne få serier av hørselsdata med hyppig oppdatering (daglig/ukentlig). Dette gir unike muligheter for deteksjon av permanente terskelskift, PTS, sammenlignet med dagens regime der det rutinemessig foretas audiometritest med 2-3 års mellomrom.

2 NEWT – hvordan virker den?

New Early Warning Test (*NEWT*) består av en enkel terskelmåling. Det vil si at man finner det laveste nivået for bestemte signal (rentoner) som personen er i stand til å høre. Målingene gjøres mens man bærer QP på vanlig måte, men det er en forutsetning at testen utføres i rimelige stille omgivelser. Målingene utføres ved tre forskjellige frekvenser, 3 kHz, 4 kHz og 6 kHz. En og en tone presenteres for personen som så må "kvittere" med et knappetrykk om tonen kan høres. Signalnivået varieres for å finne høreterskelen, altså det signalnivået man så vidt kan høre. Ved å gjøre dette på en "intelligent måte" avhengig av hvordan personen svarer, vil man kunne finne høreterskelen etter bare seks eller syv testtoner.

Det kan være store forskjeller i høreterskel for ulike personer. Ved utviklingen av *NEWT*-prosedyren er det lagt stor vekt på at den skal være så tidseffektiv som mulig. En komplett måleserie, det vil si tre testfrekvenser og to ører, tar typisk to-tre minutter å gjennomføre. Når og hvor hyppig *NEWT*-målingene bør utføres, er avhengig av om man primært ønsker å studere permanente eller temporære terskelskift.

Ved å kombinere hørselstesten *NEWT* med et passende analyseprogram er målsettingen å kunne etablere en automatisk "siling" slik at bare de personene som man oppdager indikasjoner på terskelskift hos, blir innkalt til nærmere undersøkelse. Hyppigheten av hørselsmålingene vil kunne økes dramatisk, og dette vil kunne gi en raskere deteksjon av en begynnende hørselsskade. En slik prosedyre vil kunne frigjøre ressurser innen arbeidet med hørselshelsen.

Videre i dette dokumentet vil bruk av begrepet *hørselstest* tilsvare *NEWT* eller *QP hørselstest*.

3 Analyse av hørselsdata

Hovedhensikten med hørselstestene er å detektere permanente endringer i hørselen. Man ønsker å kunne oppdage selv små avvik på et tidligst mulig tidspunkt. Dersom NEWT-funksjonen blir tatt i bruk av alle aktuelle brukere av QP, vil det genereres store mengder data, og det er nødvendig å finne en metode for automatisk behandling av disse.

3.1 Statistisk prosesskontroll

En prosesskontroll kan gå ut på å observere en bestemt parameter i en prosess, for eksempel vekten på en vare, og sammenlikne denne med en referanseverdi. Hvis differansen mellom den observerte parameteren og referanseverdien er utenfor et forhåndsdefinert "vindu", er prosessen "ute av kontroll". Hvis det er snakk om et stort antall kontroller, må man basere seg på stikkprøver og behandle resultatene statistisk. Det er utviklet ulike metoder for statistisk prosesskontroll.

Hørselen kan betraktes som en "prosess" der høreterskelen er parameteren som brukes for å kontrollere at prosessen er normal. Dersom terskelen avviker for mye fra referanseverdien, kan altså prosessen betraktes "ute av kontroll". Det betyr at det har oppstått et terskelskift som er større enn det man regner som normalt, og det er altså sannsynlig at man har en begynnende skade.

Det er avgjørende å ha en god beskrivelse av normalsituasjonen for kunne detektere endring i hørselen ved bruk av statistisk prosesskontroll. Dette er spesielt viktig for prosesskontrollmetoder som skal avdekke små endringer, og i NEXT STEP-prosjektet søkes det nettopp å detektere små endringer i høreterskelen. Hvis høreterskelen overestimeres blir prosesskontrollen mindre følsom for faktiske endringer, og hvis den underestimeres kan den gi falske alarmer.

Da man ikke vet høreterskelen eller variasjonen i denne på forhånd, må disse verdiene finnes. En måte å finne disse verdiene på er å kjøre en innledende fase der målinger hentes inn kun for å brukes til å estimere høreterskel og den tilhørende variasjonen. Denne metoden krever et stort antall målinger for å finne nøyaktige estimat. Anbefalingene for denne metoden varierer fra omtrent 100 målinger til 200-300. Fordelen er at denne typen prosesskontroll blir mer nøyaktig og vil kunne detektere endringer raskere og/eller gi færre falske alarmer.

En annen måte å finne høreterskel og variasjonen i denne på er å anvende såkalte "selvstartende kontrollark". Fordelen med denne metoden er at man kan begynne monitoreringen umiddelbart. Denne metoden er derfor godt egnet til å monitorere prosesser der man har relativt få observasjoner og det er tid- og ressurskrevende å få til flere. Da gjennomføring av hørselsmålinger krever at testpersonen både har tid til å gjøre dem, og også at de gjennomføres i rolige omgivelser da den krever konsentrasjon, er det ikke ønskelig å be testpersonen "kaste bort" 100 målinger eller flere på en innledende fase.

3.2 Valg av metode

Det finnes ulike metoder for statistisk prosesskontroll som hver har sine fordeler og svakheter. Ønsket om tidlig deteksjon av terskelskift må avveies mot størrelsen på det skiftet man vil oppdage, og selvsagt mot sannsynligheten for "falske" alarmer. Skal systemet innebære noen tidsbesparelse i forhold til dagens testregime, må for eksempel feilraten ikke føre til at brukerne blir innkalt til utvidet kontroll oftere enn de gjøres rutinemessig i dag.

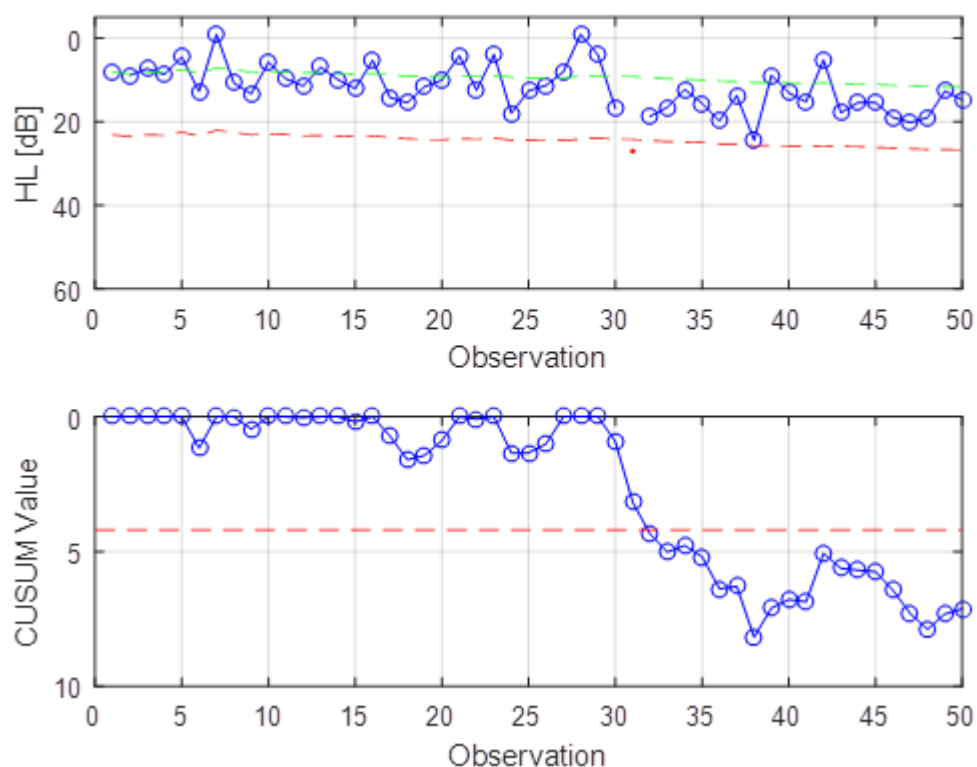
Metoden vi har beskrevet i denne rapporten, er basert på bruk av såkalte "selvstartende CUSUM kontrollark". Her beregnes en kumulativ sum av avvikene fra referansen for flere påfølgende målinger. Metoden gjør det mulig å avdekke små endringer i løpet av relativt kort tid (lite antall målinger). Metoden vil bli nærmere beskrevet i en egen publikasjon. Figur 1 viser et eksempel på simulerte terskelmålinger (øverst) og det tilhørende CUSUM-arket (nederst).

Absissen (x-aksen) er en slags tidsakse for observasjonene (x = observasjonsnummer). Det kan synes som om det er gått like lang tid mellom hver observasjon/måling, men det er ikke nødvendigvis tilfelle.

Ordinaten (y-aksen) i det øverste diagrammet viser observert terskel i forhold til normalterskel. Hearing level, HL=10 dB, betyr altså at vedkommende har en høreterskel som er forskjøvet 10 dB i forhold til normalen, det vil si "har litt dårligere hørsel".

Ordinaten (y-aksen) i det nederste diagrammet viser CUSUM-verdiene, det vil si kumulert sum av avvik fra referansen. Når man skal vurdere hørselsdata for flere frekvenser og flere personer, er det praktisk å benytte normaliserte HL-data, såkalte *Q-verdier*. Da kan man benytte samme CUSUM kontrollgrense for alle frekvenser/personer, noe som forenkler prosesskontrollen. Dette vil bli nærmere forklart i den omtalte kommende publikasjonen.

Eksempelet i figur 1 viser simulerte hørselsmålinger der det oppstår en endring på 10 dB fra og med måling nummer 30. Som vist "flagges" dette allerede på måling 31 i HL-diagrammet (markert med rød prikk). Dette identifiserer en mulig "outlier". Siden man ikke nødvendigvis skal stole på enkeltmålinger kan man la prosessen fortsette noen målinger til. Ingen av de påfølgende målingene går utenfor kontrollgrensen til HL-diagrammet, men CUSUM-diagrammet indikerer at prosessen er ute av kontroll allerede på måling nummer 32. Man har da en god indikasjon på at noe har hendt.



Figur 1 - Simulerte hørselsmålinger (øverst) med tilhørende CUSUM-ark (nederst). Den grønne stiplede linjen viser gjennomsnittlig HL fra og med observasjon nr 1. De røde stiplede linjene er kontrollgrenser for de to kontrollarkene.

4 Automatisk grovsortering (screening)

Dersom den foreslåtte metoden for hørselstesting skal kunne tas i bruk i stor skala, er det som nevnt tidligere, behov for en automatisert behandling av data. Behandlingen av data må være tilstrekkelig nøyaktig til å fange opp mulige terskelskift, og samtidig robust nok slik at det ikke blir for mange feilmeldinger. Det mest aktuelle er trolig en to-trinns prosess, der de enkelte personene som plukkes ut automatisk ved første sortering/siling, blir nøyere analysert, enten automatisk eller manuelt, før man eventuelt henviser vedkommende til en audiometrisk utredning.

En slik ekstra oppfølging kan for eksempel bestå av at vedkommende får automatisk beskjed om å gjenta hørselstesten et antall ganger, eller at kvalifisert helsepersonell går inn i resultatene og gjennomfører en anamnese basert på alle tilgjengelige hørsels- og eksponeringsdata for vedkommende bruker.

Gjennom analyse av målte hørselsdata har vi sett at det vil forekomme feilmålinger i hørselstestene. Dette kan bl.a. skje ved uoppmerksomhet, ved tilfeldige støyhendelser under testen, utstyrsfeil og lignende. Det må derfor også lages automatiserte prosedyrer som "vasker" primærdata før den videre analysen.

Det finnes allerede feilmeldinger i QP som kan brukes som et første-linjefilter for datavasking. Hvis hørselstesten avbrytes før den er fullført, eller hvis testpersonen enten ikke svarer i det hele tatt, eller

eventuelt svarer på alle signalene, blir dette "flagget" på en egen måte i databasen. Dette kan brukes for å fjerne data som åpenbart er mistenkelige.

Andre feil, for eksempel uoppmerksomhet eller forstyrrelser under testen vil føre til at det kan forekomme et tilsynelatende stort terskelskift ved en enkelt frekvens. Det kan da være fornuftig å kontrollere dette skiftet mot data for de andre frekvensene. Det er liten sannsynlighet for at det skal oppstå et stort skift ved en frekvens uten at det også kan sees ved de andre testfrekvensene. Slike enkeltregistreringer kan da behandles spesielt etter vedtatte prosedyrer .

Man kan foreta en løpende sammenlikning mellom tre påfølgende registreringer. Dersom den midterste målingen viser stort avvik, kan det være aktuelt å forkaste denne, eller eventuelt foreta en glidende midling.

Skulle man derimot registrere et samtidig skift ved flere frekvenser, kan det være aktuelt å vurdere dette mot eksponeringsdosen (hvis denne finnes). Dersom dosen er så stor at det kan forventes et temporært skift, TTS, bør slike måldata "merkes" for nærmere undersøkelse. Alternativt kan man betrakte måleresultatet som en "outlier" og foreta en vekting før målingen benyttes ved CUSUM-beregningen.

Det kan lages automatiske prosedyrer som kan gjøre slike korreksjoner og avveininger, men graden av automatisering må vurderes opp mot sannsynligheten for å overse varsel om virkelige terskelskift. Gjennom et passende valg av "vaskeprosedyrer" vil man kunne få lange tidsserier med kvalitetssikrede hørselsdata som vil forbedre prosessen med å finne mulige permanente terskelskift.

Den beskrevne analysemetoden benyttes altså for å detektere permanente terskelskift, PTS. Et temporært (støyindusert) skift kan derfor betraktes som "tilfeldig variasjon" i denne sammenhengen. Dersom man også ønsker å detektere slike temporære skift, må det gjøres med andre metoder for eksempel systematiske hørselsmålinger før og etter eksponeringen. Dette kan være aktuelt dersom man har til hensikt å spesielt studere sammenhengen mellom mottatt støydose og tilhørende temporært terskelskift, TTS.

5 Eksempler med reelle dataserier fra SLASH

I lengre tid er det blitt samlet inn måldata for støyeksponering og høreterskel blant personell på noen av Statoils installasjoner i Nordsjøen. Spesielt innhenting av hørselsdata har vært krevende. I en tidlig fase, før NEWT var implementert i QP, ble det benyttet en løsning der brukerne måtte oppsøke en utplassert PC, og så gjennomføre hørselsmålingen mens de var pålogget denne. Senere ble NEWT-metoden implementert i selve QP-enheten slik at man sto mer fritt til når og hvor hørselstesten ble utført.

Som et resultat av datainnsamlingen i FoU-prosjektet NEXT STEP, har vi nå en del til dels lange "tidsserier" med eksponerings- og hørselsdata. Noen av disse vil bli presentert i det følgende.

5.1 Valg av kontrollgrenser

Vi har valgt 15 dB som grense for det hørselstapet vi ønsker å kunne detektere umiddelbart i disse eksemplene. Denne grensen er basert på det som enyttes i arbeidsmiljø sammenheng, se "Veiledning om hørselskontroll av støyeksponerte arbeidstakere" fra Arbeidstilsynet (sist revidert 2013, best.nr. 416). Et terskelskift på 15 dB i forhold til vedkommendes normalterskel skal fanges opp av prosesskontrollen. Dette er vist med rød stiplede linje i øverste diagram i figur 1. Denne ligger 15 dB under den grønne stiplede linjen som viser gjennomsnittlig (individuelle) normalterskel. Den valgte grenseverdien er imidlertid ikke kritisk, idet det ikke tas noen aksjon basert på kun en grenseoverskridelse for høreterskelen. Ved flere påfølgende overskridelser vil terskelskiftet uansett bli registrert ganske raskt i CUSUM-diagrammet.

Kontrollgrensen i CUSUM-arket (nederste diagram i figur 1) velges slik at følsomheten til kontrollen blir som ønsket. Man ønsker et raskest mulig varsel om at det er konstatert et terskelskift, men samtidig vil man unngå for mange "falske alarmer". Kontrollgrense for CUSUM er valgt slik at kun fem av 100 prosesskontroller (5 %) vil gi en "falsk alarm" før det har gått 100 observasjoner. Det tilsvarer en fast kontrollgrense på 4.2 når man benytter normaliserte HL-verdier.

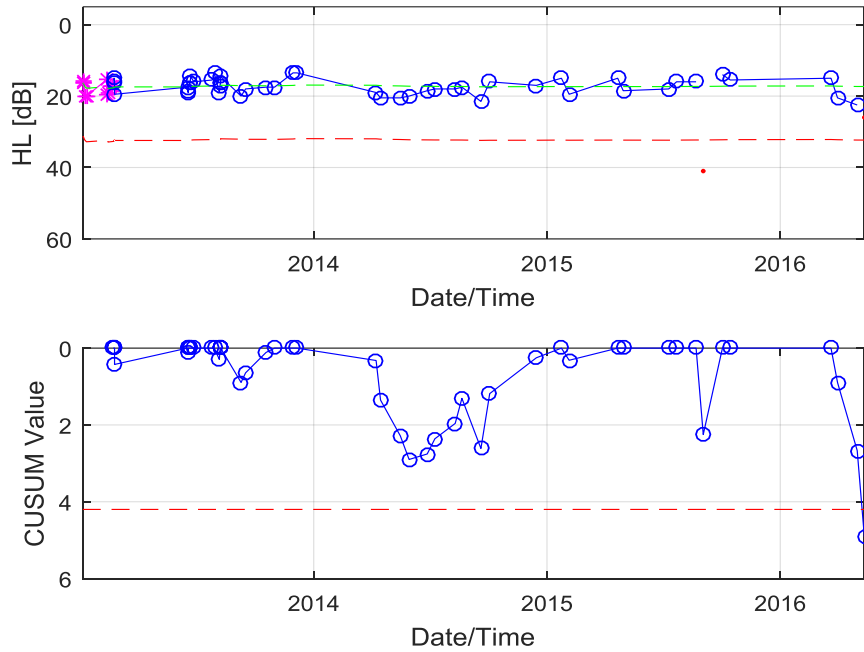
For hver hørselsmåling observeres terskelen ved tre frekvenser for begge ørene. Vi har valgt å behandle disse målingene individuelt slik at det gjøres seks kontroller for hver komplette hørselstest. De ti første målingene (merket med magenta stjerne i diagrammene) benyttes for å finne en riktig startverdi for den personlige normalterskelen. CUSUM beregnes først fra måling nr 11. I prinsippet kan CUSUM-beregningene starte med en gang, men ved stor spredning i terskelmålingene, vil man lett få "falske alarmer". Det anbefales derfor å bruke "noen målinger" (i dette tilfelle 10 stykker) for å etablere en startverdi.

Målingene som er merket med en rød prikk er observasjoner som varierer mer enn forventet (outliers). Disse er synlige i HL-plottene, men de blir korrigert før de går inn i CUSUM beregningen. Det betyr at store enkeltverdier, som trolig er feilmålinger, ikke vil føre til at CUSUM kontrollgrensen blir brutt umiddelbart. Hvis flere (to eller tre) store verdier oppstår etter hverandre, noe som antyder at en stor endring faktisk har skjedd, vil også CUSUM verdien krysse kontrollgrensen sin.

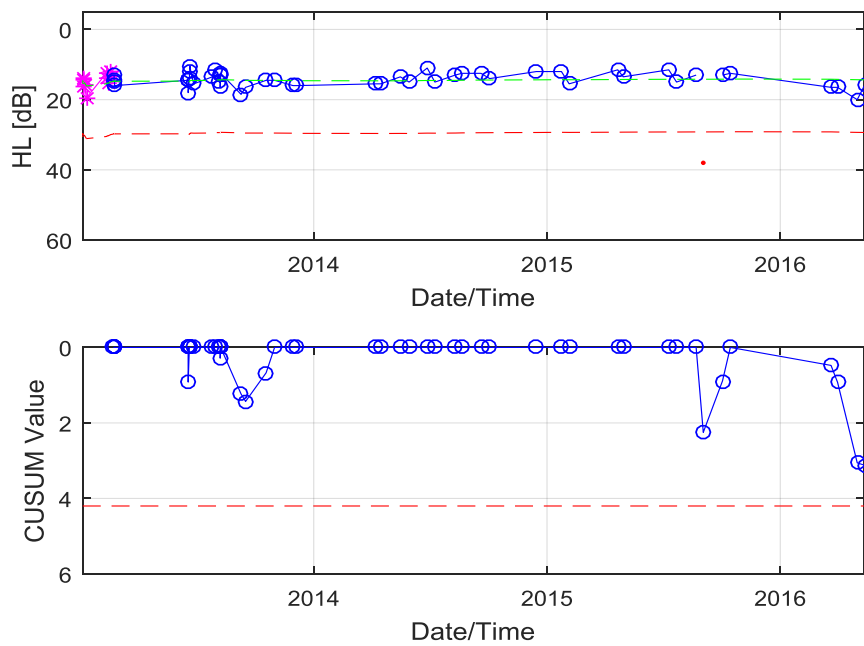
CUSUM-verdien varierer en god del på de viste eksemplene. Vi har derfor av praktiske grunner valgt å bruke forskjellig skala på y-aksen i figurene slik at det er lettere å se detaljer. 0-punktet på CUSUM-skalaen ligger øverst.

5.2 Eksempel nr 1

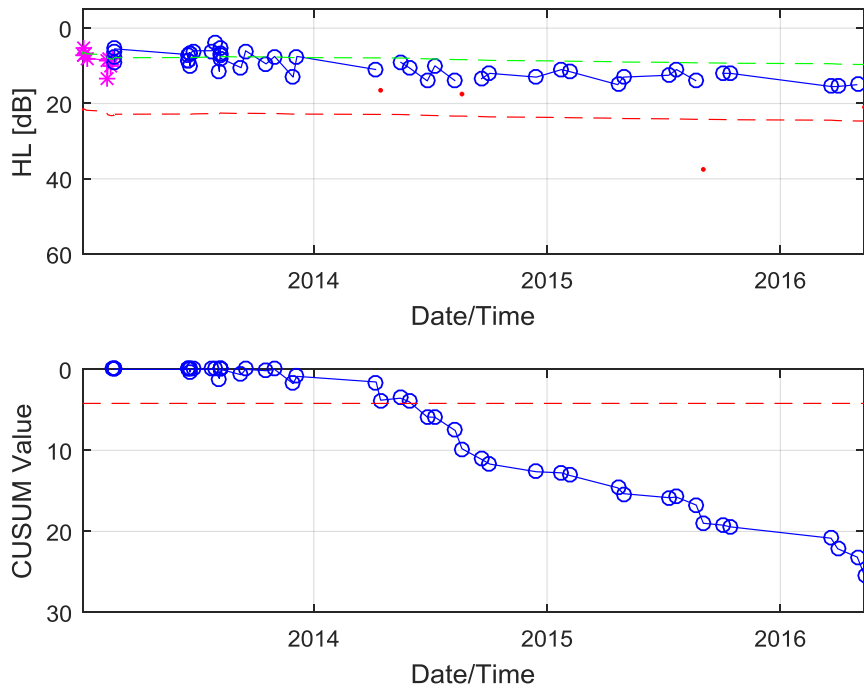
Denne personen har utført hørelstester fra begynnelsen av 2013, altså over en periode på tre og et halvt år. Målt høreterskel og beregnede CUSUM-verdier er vist i figur 1-3 (venstre øre) og figur 4-6 (høyre øre).



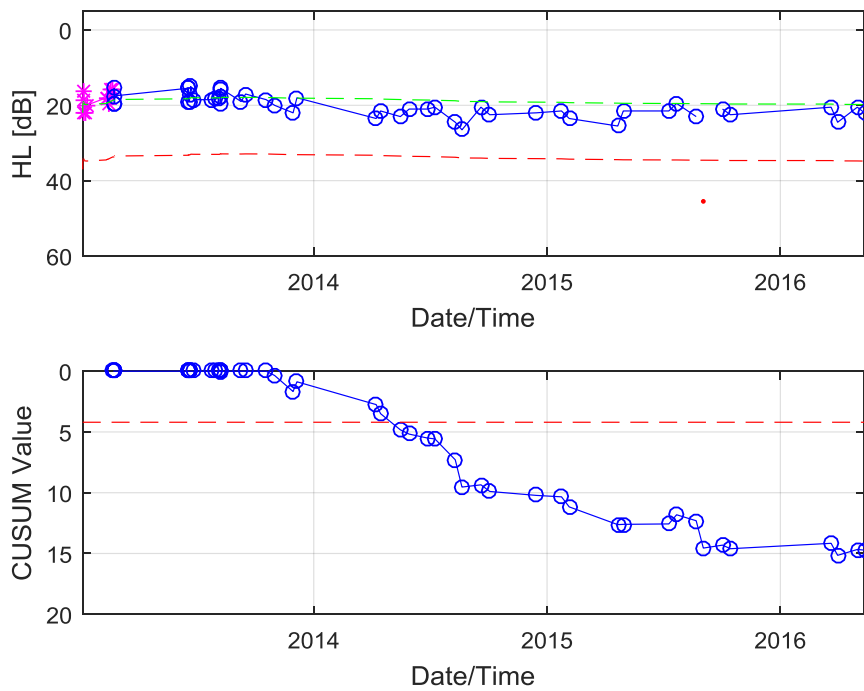
Figur 1. Person 1, venstre øre, 3 kHz



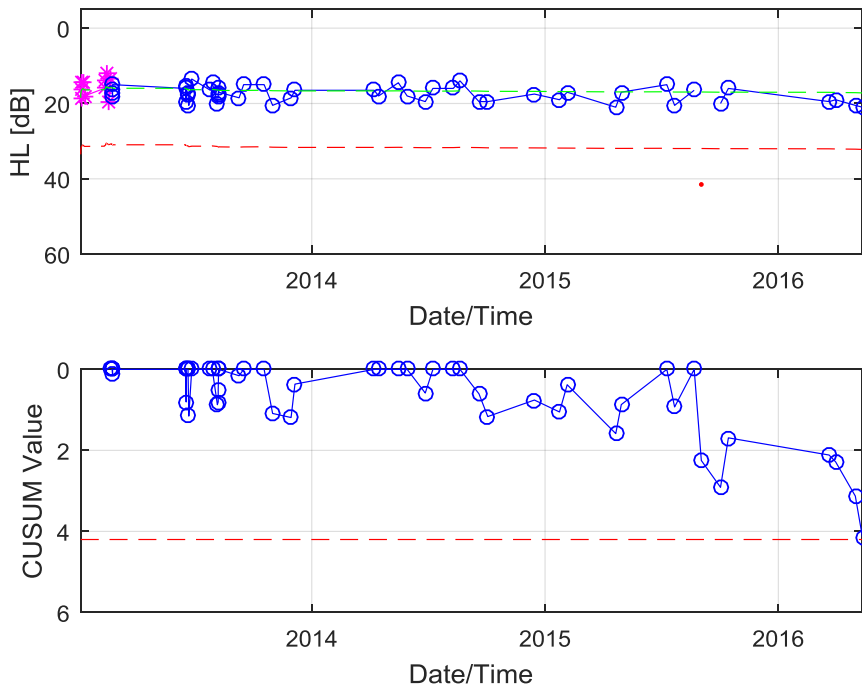
Figur 2. Person 1, venstre øre, 4 kHz



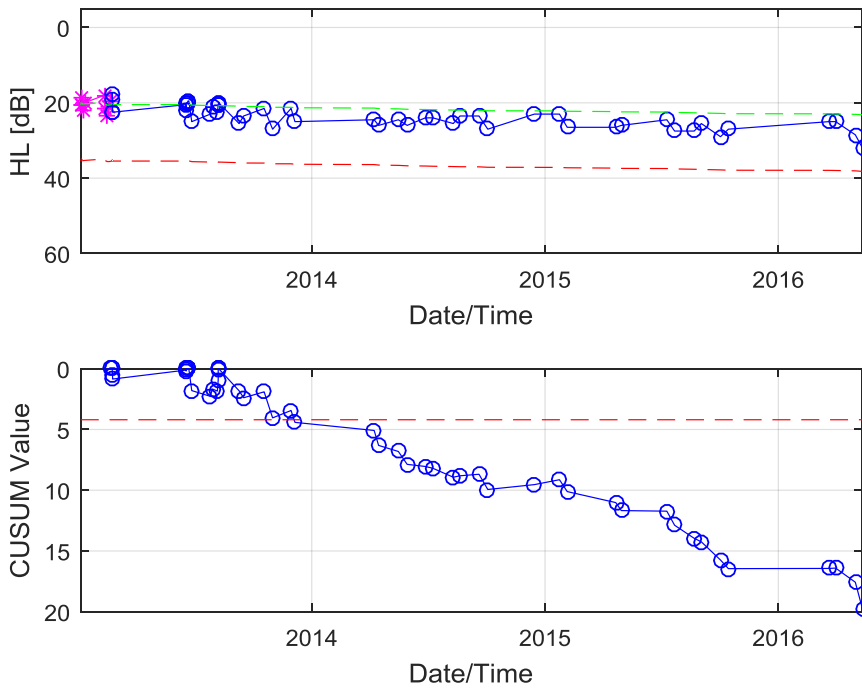
Figur 3. Person 1, venstre øre, 6 kHz



Figur 4. Person 1, høyre øre, 3 kHz



Figur 5. Person 1, høyre øre, 4 kHz



Figur 6. Person 1, høyre øre, 6 kHz

Figur 1 (venstre øre, 3 kHz) viser en "dip" i CUSUM-diagrammet omkring midt i 2014. Avviket starter omkring første kvartal, men det er ikke stort nok til å utløse et varsel. En mulig forklaring kan være en

forkjølelse som har påvirket høreterskelen midlertidig. Helt på slutten av måleserien er det igjen et avvik, og denne gangen så stort at kontrollgrensen i CUSUM-diagrammet overskrides.

Figur 2 (venstre øre, 4 kHz) viser ikke noe avvik i 2014, men det er antydning til et begynnende avvik på slutten av måleserien. I figur 3 (venstre øre, 6 kHz) detekteres et avvik tilstrekkelig til å utløse et varsel omtrent på samme tidspunkt i 2014 som i figur 1. CUSUM-verdien overskrider kontrollgrensen og det er derfor sannsynlig at vi har fått et permanent terskelskift ved 6 kHz på venstre øre. Det er også antydning til et nytt terskelskift på begynnelsen av 2016.

Figur 4 (høyre øre, 3 kHz) og 6 (høyre øre, 6 kHz) viser omtrent samme tendens. Kontrollgrensen overskrides i begynnelsen av 2014 for frekvensene 3 kHz og 6 kHz også for høyre øre. Figur 5 (høyre øre, 4 kHz) viser ingen endring ved årsskiftet 2013/14, men det er en klar indikasjon på en endring på begynnelsen av 2016. En samlet vurdering av de seks settene med målinger og analyse viser at vi har en klar indikasjon på at det har skjedd et permanent terskelskift omkring årsskiftet 2013/14, og en ny endring på begynnelsen av 2016.

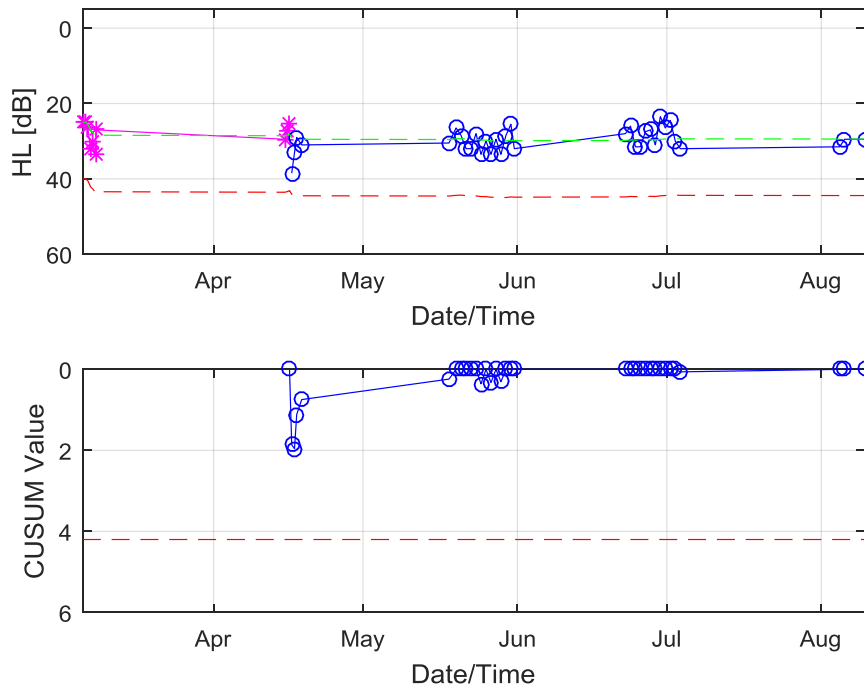
Ved å tilpasse en lineær funksjon til CUSUM-verdiene kan man få en indikasjon på når avvikene begynte, altså når "prosessen begynte å komme ut av kontroll". På grunnlag av disse observasjonene burde man se nærmere på eksponeringssituasjonen i siste kvartal 2013. Det er stor sannsynlighet for at en eller flere hendelser på dette tidspunktet har medført en permanent skade som systemet har fanget opp. I dette tilfelle blir terskelskiftet konstatert etter 5-6 målinger som tilsvarer et snaut halvår med den aktuelle målehyppigheten. Vi mangler observasjoner for å kunne gjøre en tilsvarende analyse for det observerte terskelskiftet på begynnelsen av 2016.

Ved å se på gjennomsnittsverdiene for de første 30 målingene og sammenligne med de siste 20 målingene, kan vi estimere omtrent hvor stor endring som har skjedd ved årsskiftet 2013/14: venstre, 6 kHz: 7 dB, høyre, 3 kHz: 5.5 dB, høyre, 6 kHz: 5 dB.

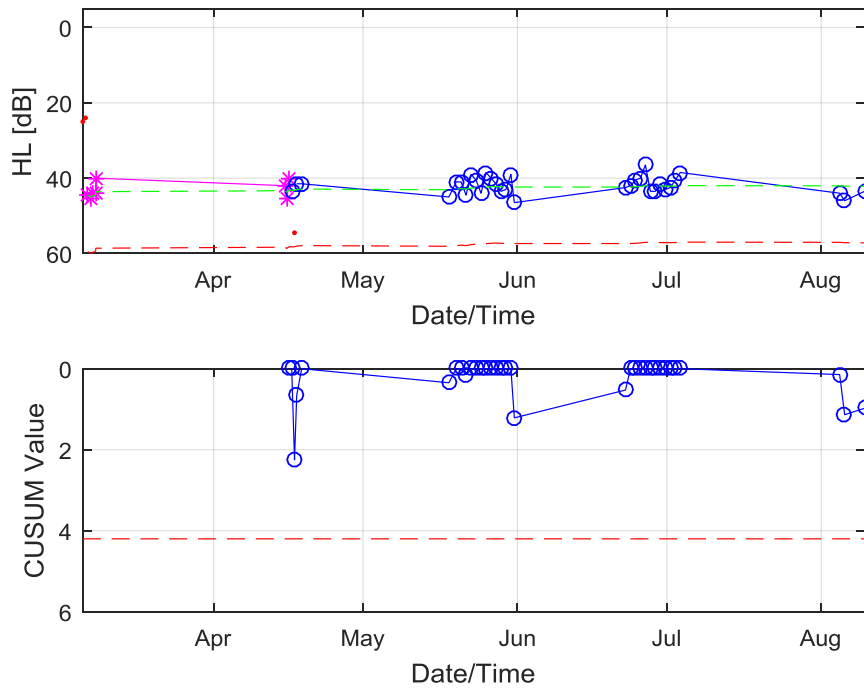
Dette eksempelet viser også nødvendigheten av å "nullstille" systemet når den fastlagte CUSUM-kontrollgrensen er overskredet. I dette tilfelle har vi relativt få observasjoner som ligger til grunn for å beregne normalterskelen. Etter et terskelskift vil CUSUM-verdien fortsette å øke (synkende linje i diagrammet) i lang tid inntil den beregnede gjennomsnittlige høreterskelen (grønn stiplet linje) blir lik den reelle. Nye endringer i høreterskelen i denne perioden, slik vi kan observere omkring starten av 2016, vil gi brå endringer i CUSUM-verdien, men disse vil ikke "flagges" automatisk fordi kontrollgrensen ikke brytes (den er allerede brutt). Dersom normalterskelen var blitt korrigert etter det første observerte skiftet, ville de etterfølgende CUSUM-verdiene ligget omkring null, og det nye skiftet på begynnelsen av 2016 ville blitt detektert som en overskridelse av kontrollgrensen.

5.3 Eksempel nr 2

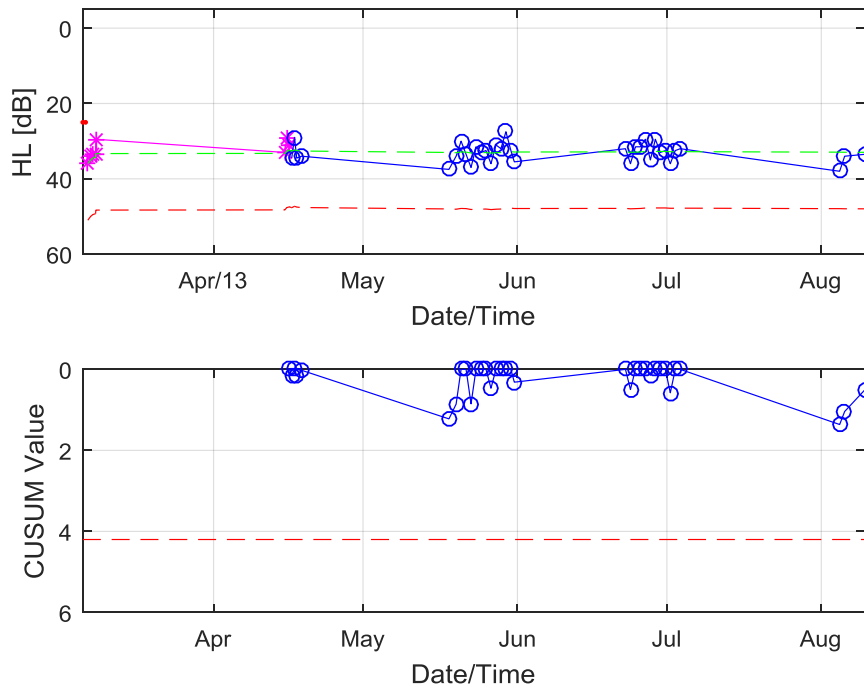
Denne personen har utført hørselstester et drøyt halvår. Målte terskelskift og beregnede CUSUM-verdier er vist i figur 7-9 (venstre øre) og figur 10-12 (høyre øre).



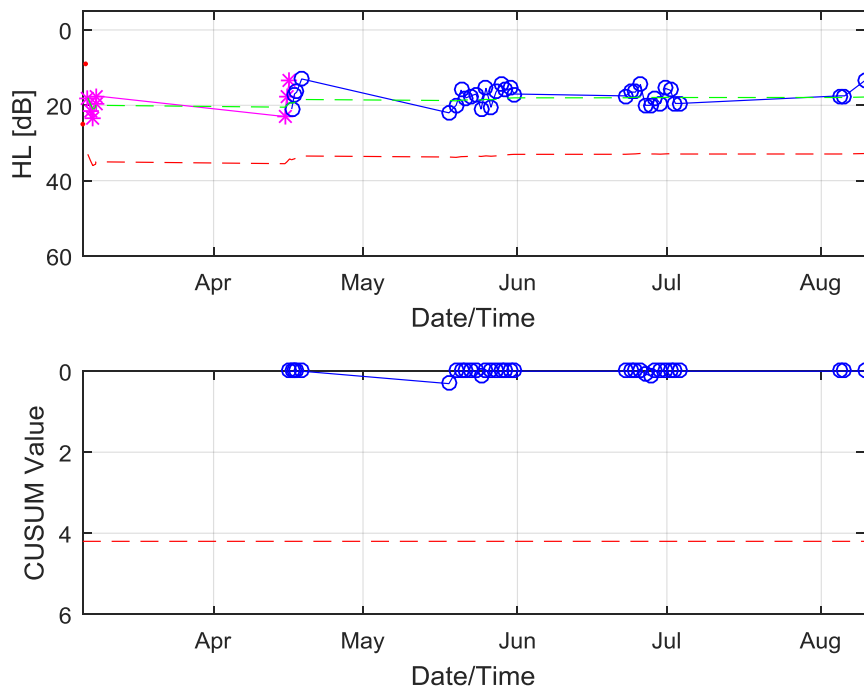
Figur 7. Person 2, venstre øre, 3 kHz



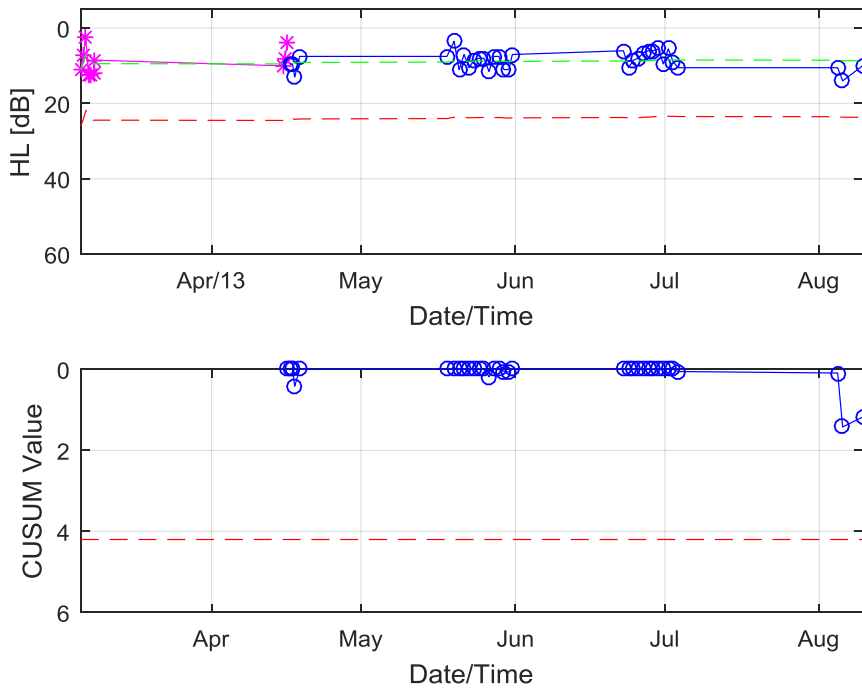
Figur 8. Person 2, venstre øre, 4 kHz



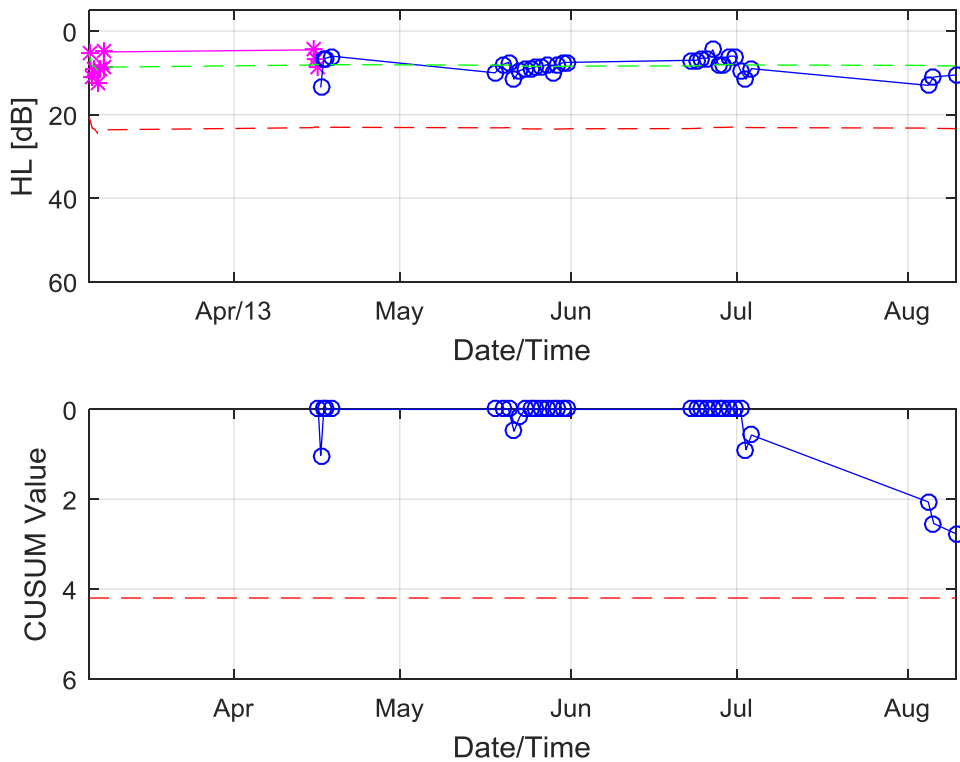
Figur 9. Person 2, venstre øre, 6 kHz



Figur 10. Person 2, høyre øre, 3 kHz



Figur 11. Person 2, høyre øre, 4 kHz

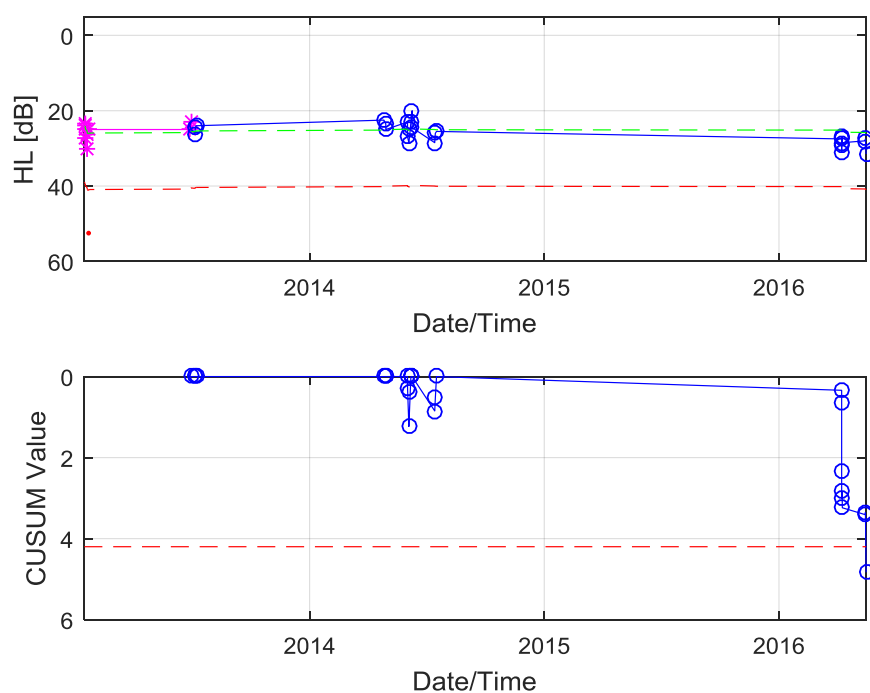


Figur 12. Person 2, høyre øre, 6 kHz

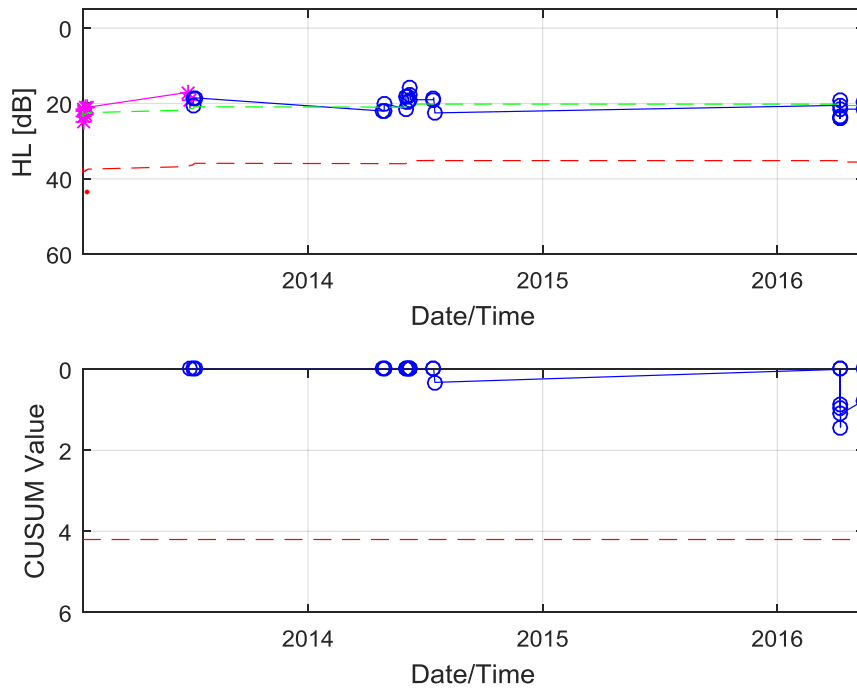
Registreringene for person 2 omfatter snaue 4 måneder når vi ser bort fra "oppstartsperioden" for å fastlegge normalterskel. Det er ikke registrert noen overskridelse av kontrollgrensen i CUSUM-diagrammet, men det er verdt å merke seg at for begge ørene er det antydning til at det kan være et begynnende terskelskift både ved 4 kHz og ved 6 kHz. Den begynnende dippen i CUSUM-verdi helt i slutten av registreringsperioden er synlig ved 4 kHz og 6 kHz for begge ørene (figurene 8, 9, 11 og 12).

5.4 Eksempel nr 3

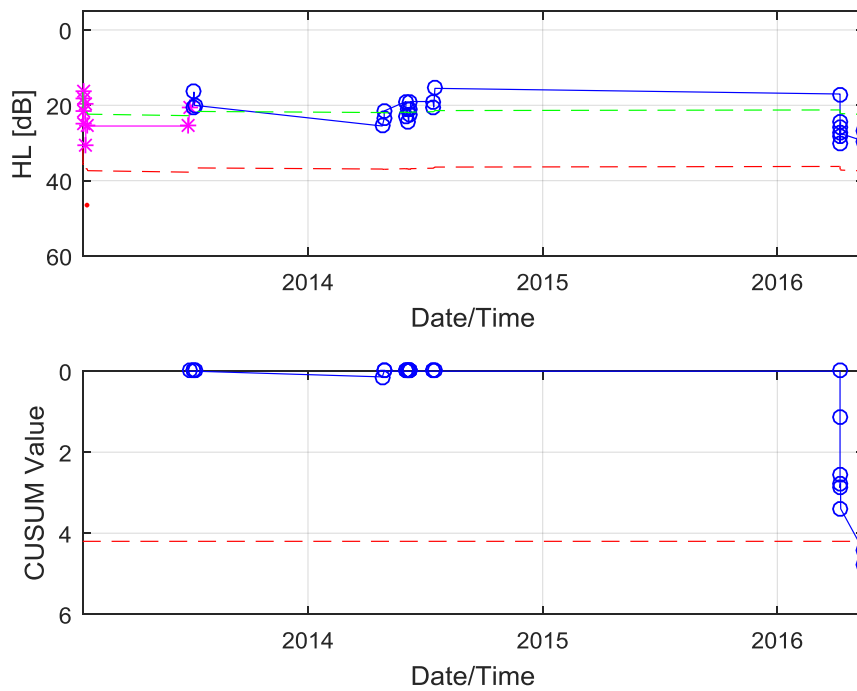
Denne personen har utført hørselstester fra begynnelsen av 2013, altså over en periode på tre og et halvt år. I motsetning til person 1 som har gjort jevnlige målinger i hele perioden, består målingene for person 3 i hovedsak av to konsentrerte perioder med nesten to års opphold i mellom. Målte terskelskift og beregnede CUSUM-verdier er vist i figur 13-15 (venstre øre) og figur 16-18 (høyre øre).



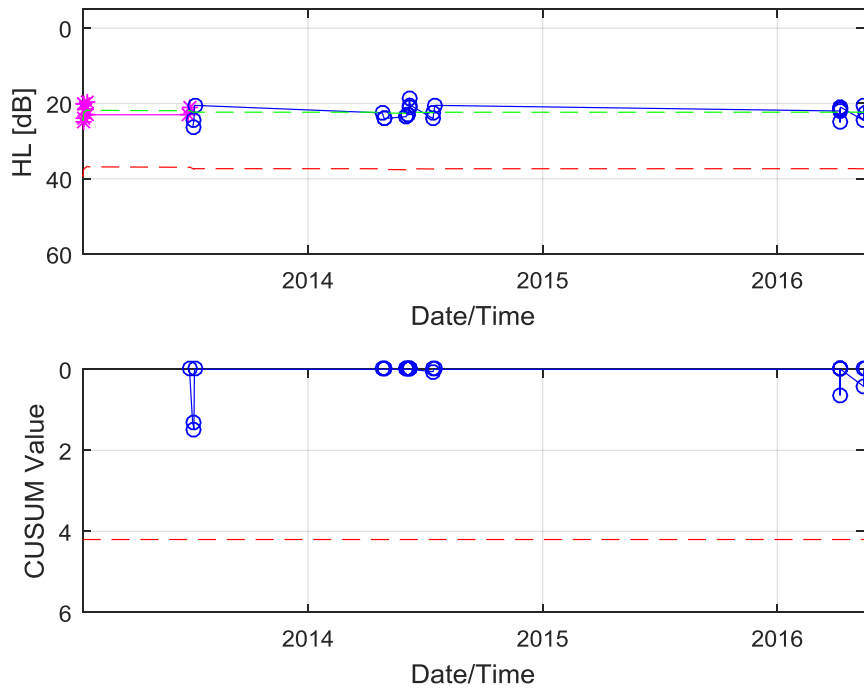
Figur 13. Person 3, venstre øre, 3 kHz



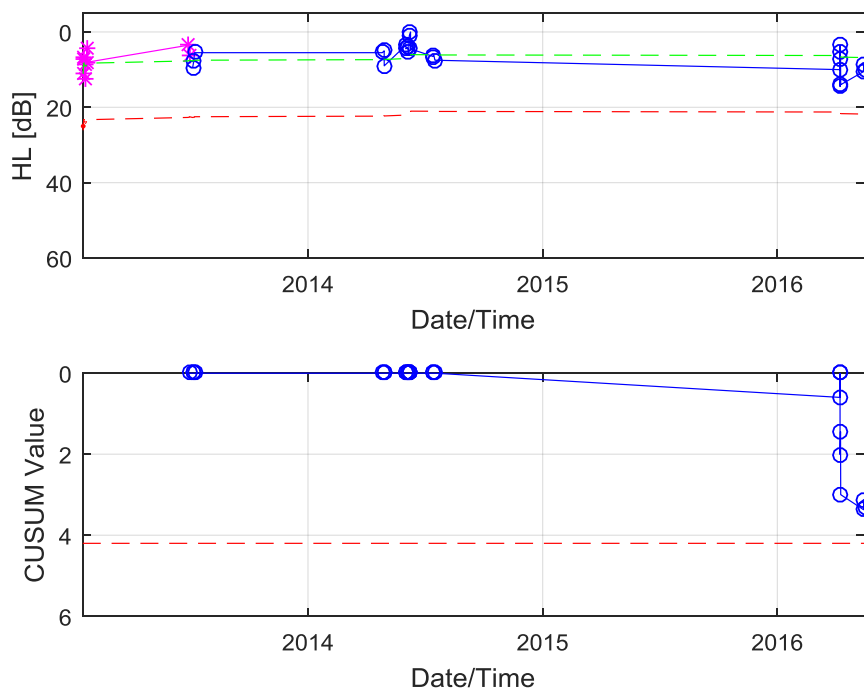
Figur 14. Person 3, venstre øre, 4 kHz



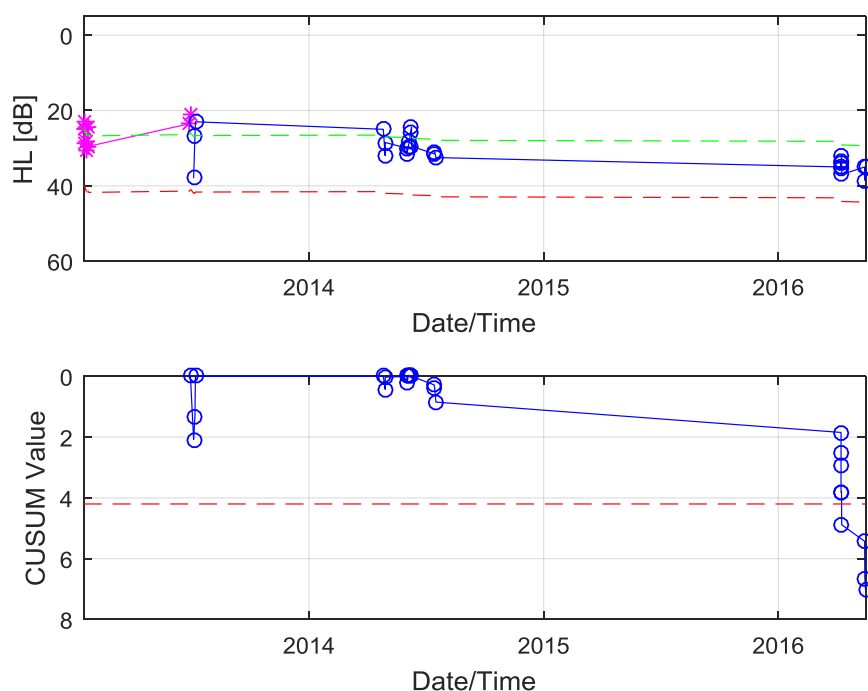
Figur 15. Person 3, venstre øre, 6 kHz



Figur 16. Person 3, høyre øre, 3 kHz



Figur 17. Person 3, høyre øre, 4 kHz

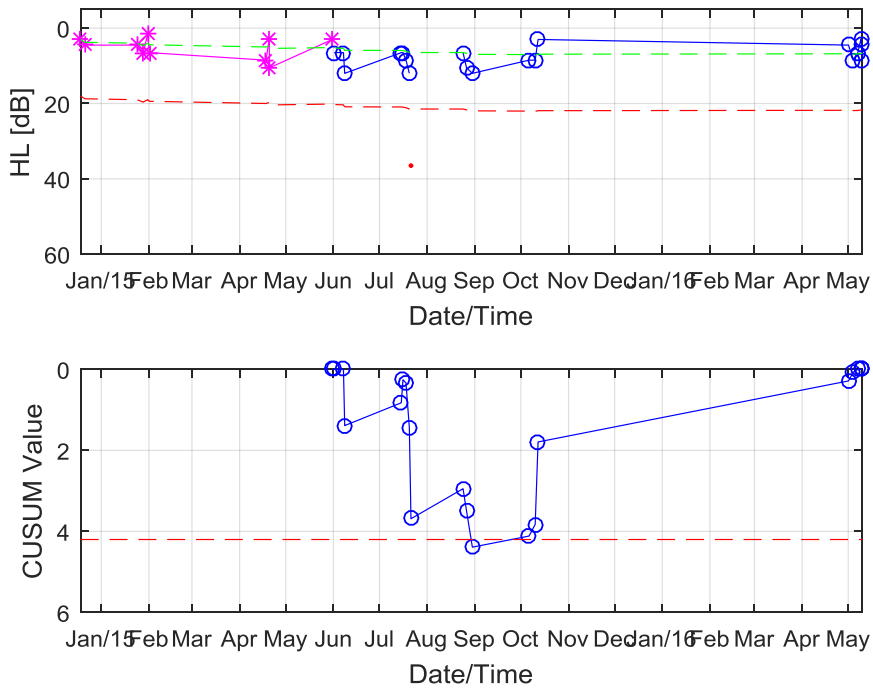


Figur 18. Person 3, høyre øre, 6 kHz.

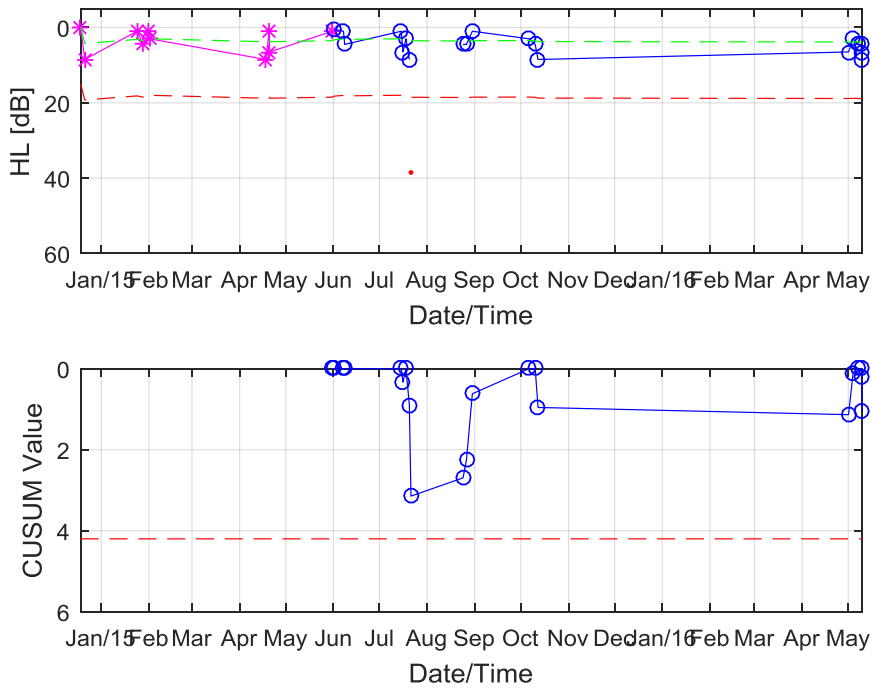
Prosesskontrollen viser omtrent umiddelbart at det har skjedd endringer i hørselen en gang i løpet av perioden før den siste måleserien. CUSUM-diagrammet markerer et terskelskift ved 3 kHz og 6 kHz på venstre øre (figur 13 og 15) og for 6 kHz på høyre øre (figur 18). Dessuten viser figur 17 at CUSUM-verdien for 4 kHz på høyre øre er på rask vei mot varslingsgrensen. For denne personen var det altså nødvendig med bare 5-7 målinger etter terskelskiftet før kontrollrutinen ga varsel om at et terskelskift var inntruffet. Ved å betrakte gjennomsnittlig terskel før (10 målinger) og etter (8 målinger) skiftet finner vi følgende verdier for terskelskiftet: venstre øre, 3 kHz: HL fra 25.5 dB til 28.8 dB = 3.3 dB, venstre øre, 6 kHz: HL fra 22.5 dB til 27.3 dB = 4.8 dB og høyre øre, 6 kHz: HL fra 25.9 dB til 35.1 dB = 9.2 dB.

5.5 Eksempel nr 4

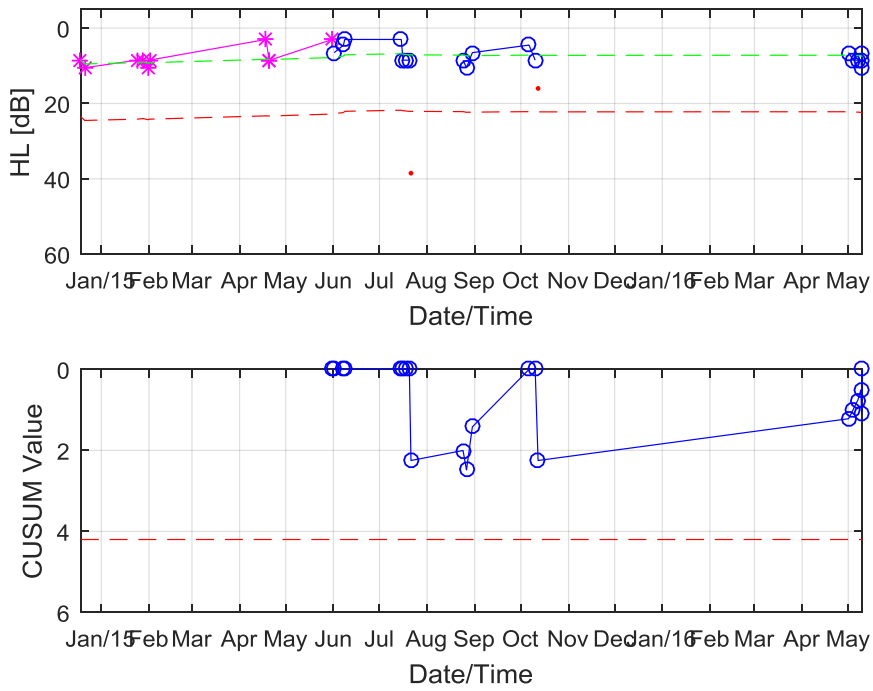
Denne personen har utført hørselstester i en periode på vel 16 måneder. Måledata er vist i figur 19-21 for venstre øre og figur 22-24 for høyre øre.



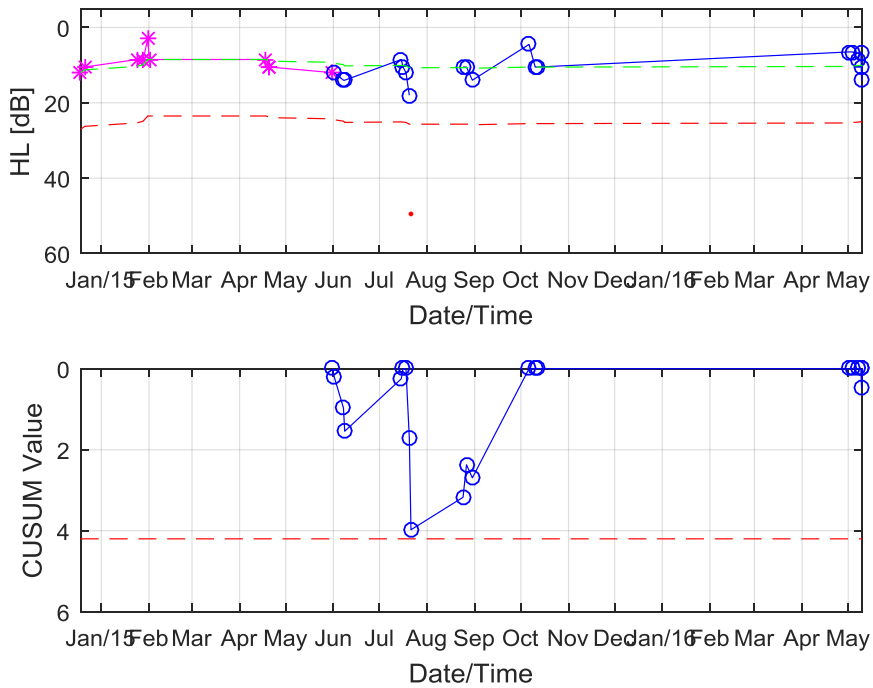
Figur 19. Person 4, venstre øre, 3 kHz



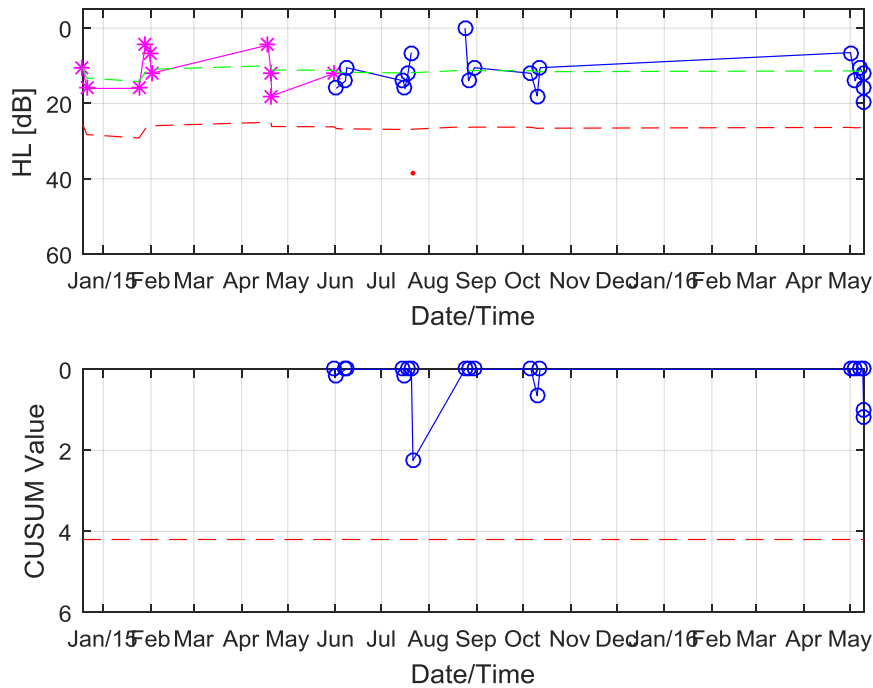
Figur 20. Person 4, venstre øre, 4 kHz



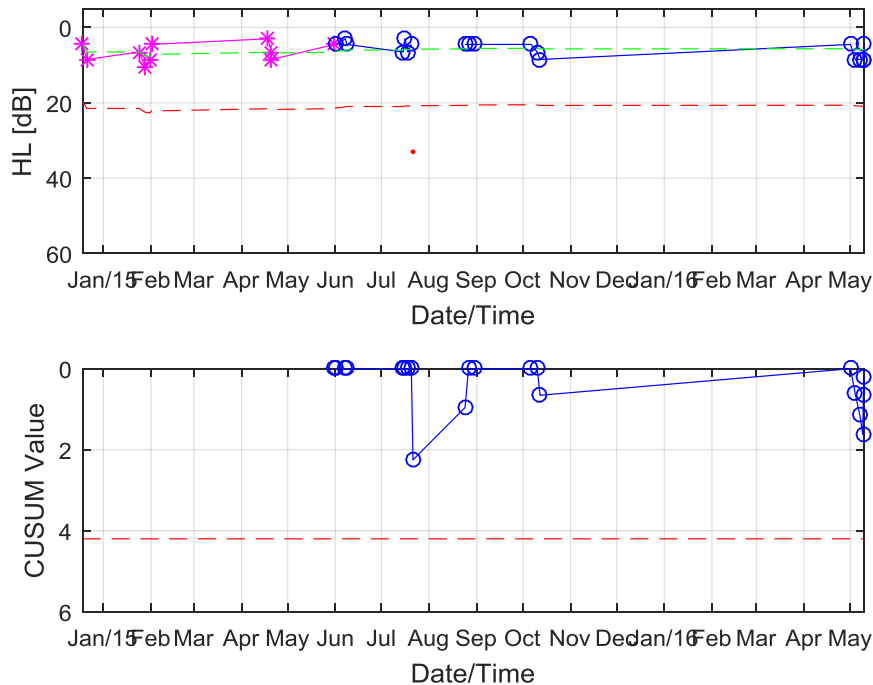
Figur 21. Person 4, venstre øre, 6 kHz



Figur 22. Person 4, høyre øre, 3 kHz



Figur 23. Person 4, høyre øre, 4 kHz



Figur 24. Person 4, høyre øre, 6 kHz

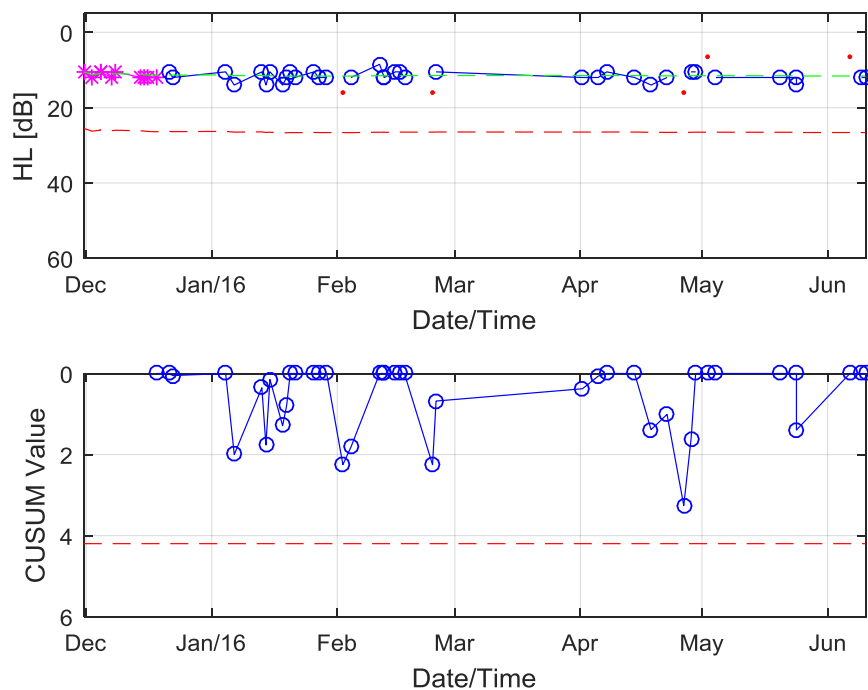
Diagrammene for person 4 viser at CUSUM-verdiene varierer mer enn i de andre eksemplene, men bare i ett tilfelle, figur 19, overskrides kontrollgrensen. Da CUSUM-verdiene også i dette tilfelle går tilbake til normalverdier, det vil si ligger innenfor det definerte aksepterte variasjonsområdet, og det faktum at

kontrollgrensen bare ble overskredet ved en frekvens på ett øre, kan vi være ganske sikre på at det dreier seg om en "feilmåling".

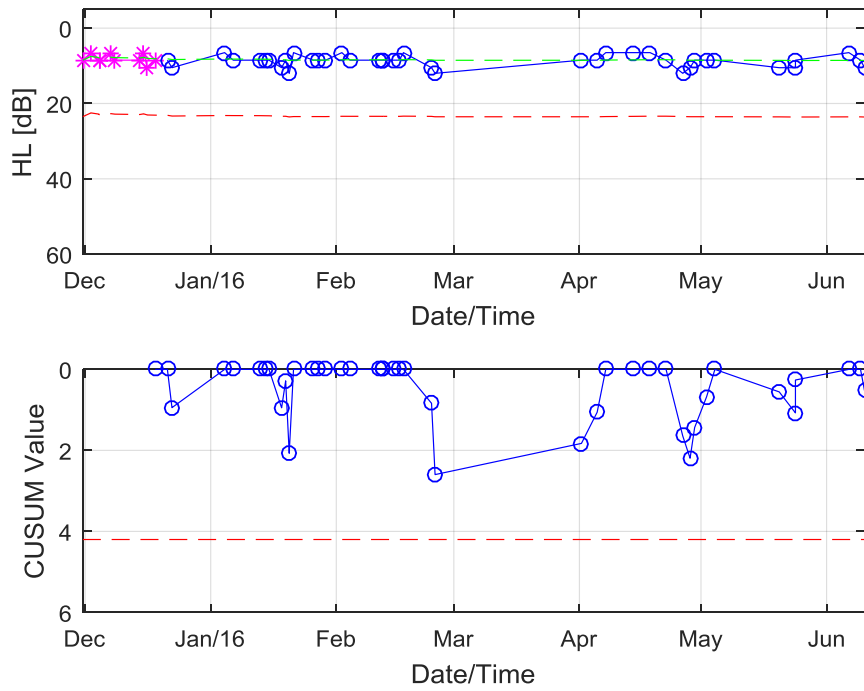
Denne personen har en større variasjon i bestemmelsen av terskelnivået enn de øvrige eksemplene. Det kan skyldes individuelle variasjoner i hvordan man "svarer" på NEWT-målingene, eller også at personen er eksponert for støy som gir temporære terskelskift. Eksempelet gir altså en indikasjon på at det kan være aktuelt å benytte individuelle kontrollgrenser.

5.6 Eksempel nr 5

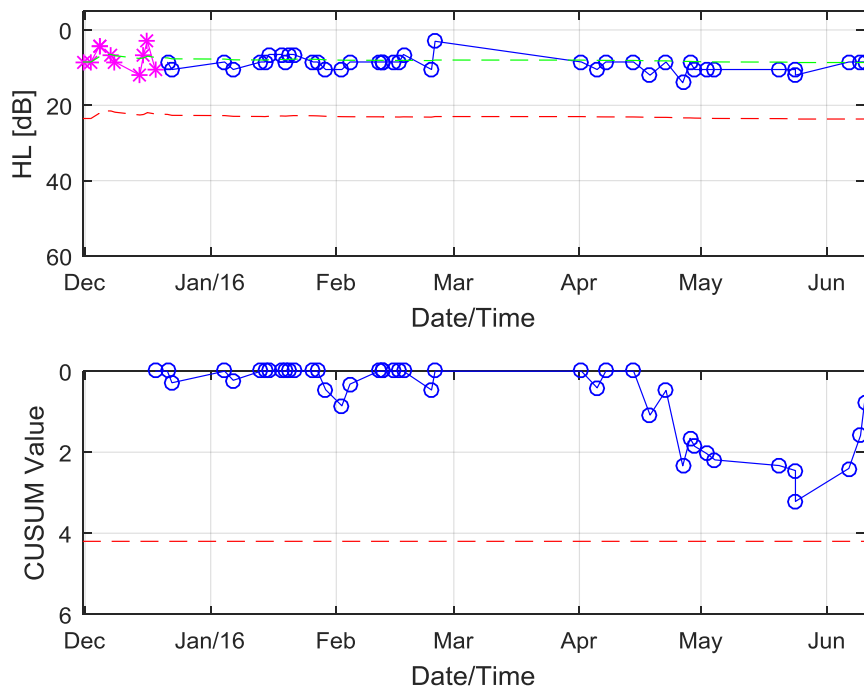
Denne personen har utført hørselstester i en periode på vel 6 måneder. Måledata er vist i figur 25-27 for venstre øre og figur 28-30 for høyre øre.



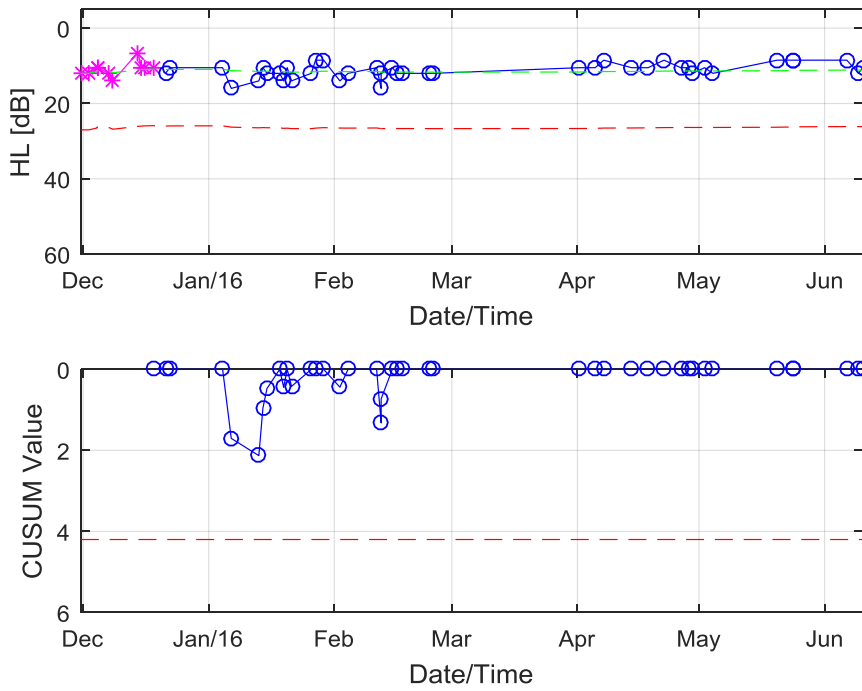
Figur 25. Person 5, venstre øre, 3 kHz



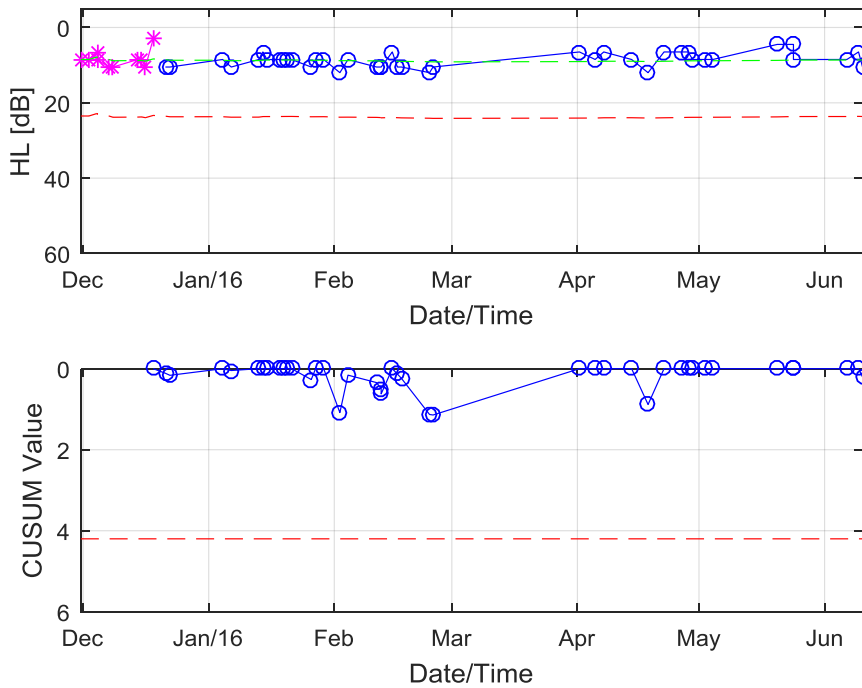
Figur 26. Person 5, venstre øre, 4 kHz



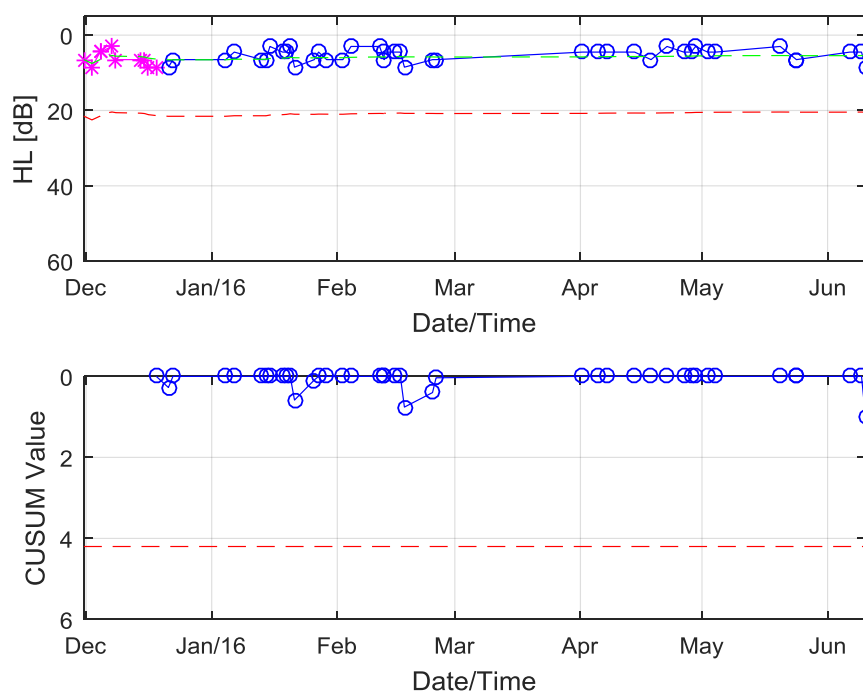
Figur 27. Person 5, venstre øre, 6 kHz



Figur 28. Person 5, høyre øre, 3 kHz



Figur 29. Person 5, høyre øre, 4 kHz



Figur 30. Person 5, høyre øre, 6 kHz

Hørselestestene for denne personen er svært stabile. Det er enkelte "utslag" i CUSUM-diagrammet, men kontrollgrensen blir aldri brutt og CUSUM-verdien går raskt tilbake til null. Dette er et godt eksempel på god hørsel og små variasjoner i terskelmålingene.

6 Konklusjon og videre arbeid

Eksempelene med virkelige hørselsdata hentet fra SLASH-databasen, viser at en enkel metode for statistisk prosesskontroll vil kunne detektere små terskelskift relativt raskt avhengig av hvor hyppig hørselstestene utføres.

Det gjenstår imidlertid en god del administrative beslutninger og praktisk arbeid før metoden eventuelt kan tas i bruk i stor skala.

Det må etableres rutiner for å "vaske" primærdata fra hørselsmålingene slik at ikke tilfeldige feil fra disse skal påvirke kontrollrutinene. Det må i tillegg gjøres en del valg med hensyn på hvor store/små terskelskift man ønsker å detektere og hvilken "feilrate" som er akseptabel. Disse valgene vil bestemme kontrollgrensene i CUSUM-arket.

Det må også etableres rutiner som sikrer tilstrekkelig hyppige målinger blant QP-brukerne, og det må eventuelt skaffes egnet utstyr og utarbeides rutiner dersom andre grupper uten tilgang til QP også skal underlegges samme kontrollregime.

Det må dessuten tas administrative beslutninger om hvordan "alarmer" om mulige terskelskift skal håndteres. Hørselsdata er sensitiv informasjon som må håndteres og sikres på riktig måte, og det vil trolig kreves samtykke fra den enkelte arbeidstaker ved en eventuell innføring av et slikt kontrollregime.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no