

ONGERUBRICEERD

Defensie & Veiligheid
Oude Waalsdorperweg 63
2597 AK Den Haag
Postbus 96864
2509 JG Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 10 00

TNO-rapport**TNO 2021 R10130****Onderzoek verbindingsproblemen C2000**

Datum	Januari 2021
Auteur(s)	Ir. H.J. Dekker G.R. Jansen-Ferdinandus MSc Dr. T.W.J. van Ruijven
Titel	Ongerubriceerd
Samenvatting	Ongerubriceerd
Rapporttekst	Ongerubriceerd
Bijlagen	Ongerubriceerd
Aantal pagina's	41 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	Ministerie van Justitie en Veiligheid
Projectnaam	Technisch onderzoek gebruikersproblemen C2000
Projectnummer	060.46457

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2021 TNO

ONGERUBRICEERD

Samenvatting

Sinds de migratie van het C2000 netwerk op 28 januari 2020 hebben zich problemen voorgedaan zoals verlies van verbindingen en matige audiokwaliteit. In de intensieve nazorgperiode na de migratie (van 28 januari tot 1 juli 2020) en de periode daarna zijn wijzigingen doorgevoerd die deze problemen deels hebben verholpen. Vanuit het programma Implementatie Vernieuwing C2000 (IVC) is aangegeven dat gebruikers, ondanks deze wijzigingen, alsnog problemen ervaren. Het ministerie van Justitie en Veiligheid heeft TNO gevraagd een onafhankelijk technisch onderzoek uit te voeren naar de achterliggende oorzaken van vier specifieke problemen die naar verwachting de meest(e) verstorende gebruikersproblemen veroorzaken. Dit rapport bevat de uitkomsten van dit onderzoek.

Op voorhand is het van belang twee beperkingen van het onderzoek te noemen. Ten eerste is gebleken dat de relatie tussen de door gebruiker ervaren klachten, geregistreerde incidenten en de voor dit onderzoek geselecteerde problemen diffuus is. Incidenten zoals het verlies van verbinding tussen een randapparaat en het netwerk kunnen vaak niet of met weinig zekerheid aan specifieke problemen worden gekoppeld omdat de oorzaak voor de gebruiker niet zichtbaar is. Door de afwezigheid van een duidelijk verband tussen klachten, geregistreerde incidenten en problemen is het niet mogelijk vast te stellen hoeveel klachten het oplossen van de geselecteerde problemen daadwerkelijk voorkomt. Ten tweede zijn twee delen van het onderzoek niet of anders uitgevoerd dan bij aanvang gepland. Het onderzoek naar het verhogen van de *output power* van antennes is gewijzigd in onderzoek naar de ruisvloer. Het onderzoek naar de pilot rond het inschakelen van *carrier ramping* als alternatief voor *slot ramping* is gepland in januari 2021 en derhalve (nog) geen onderdeel van dit onderzoek.

Gezien de behoefte aan een overzicht van, en inzicht in, de oorzaken van de geselecteerde problemen, is ervoor gekozen voor het onderzoek een aanpak te hanteren die verschillende mogelijke oorzaken (visueel) inzichtelijk maakt en focust op het aantoonbaar uitsluiten van mogelijke oorzaken.

Uitkomsten van het onderzoek

Om een beeld van de omvang van de verbindingsproblemen in C2000 en de geselecteerde problemen te schetsen, zijn de geregistreerde incidenten van storingen en problemen in C2000 geanalyseerd. Deze analyse laat zien dat de incidentregistratie een aantal beperkingen kent waardoor de verhouding met het totaal aantal door de gebruikers ervaren problemen onzeker is. Ondanks dat het aantal klachten naar verwachting hoger ligt dan het aantal geregistreerde incidenten (en wellicht in toenemende mate door meldmoeheid), lijkt het aantal klachten te dalen, onder andere als gevolg van de wijzigingen die in juli zijn doorgevoerd.

Naar aanleiding van het onderzoek naar de mogelijke oorzaken van de vier geselecteerde problemen zijn enkele algemene en een aantal specifieke conclusies opgesteld. In het algemeen geldt dat:

- De beschikbare informatie aanwijzingen bevat dat bij de RF-planning onvoldoende rekening is gehouden met het optreden van zelf-interferentie. Deze tekortkoming in de RF-planning kan een verklaring vormen van mogelijk een groot deel van de incidenten die zijn geregisterd voor de wijziging van het RF-plan in juli.
- Voor wat betreft het ontwerp en de implementatie van de grondstations is voorafgaand aan het operationeel in werking stellen van het netwerk geen systematische verificatie uitgevoerd (bijv. in de vorm van een afnametest). Ook geldt dat de CTK voor randapparatuur niet is aangepast voor het Hytera netwerk, noch is de bestaande randapparatuur opnieuw gecertificeerd voor het Hytera netwerk. Bij afwezigheid van deze keuringen kunnen eigenschappen van deze componenten en eventuele interoperabiliteitsproblemen niet als mogelijke oorzaak worden uitgesloten van de problemen die zich voordoen.
- Problemen ten gevolge van een slechte dekking (lage signaalsterkte van gewenst signaal) of een verhoogde ruisvloer door zelf-interferentie of interferentie afkomstig van externe bronnen, zullen zich (ook na Release 10.01.03) blijven voordoen. Een analyse van de ruisvloer is van groot belang om de oorzaken te kunnen duiden en weg te nemen.
- Voor het analyseren van problemen en het bijhouden van de activiteiten om problemen te onderzoeken en te verhelpen maakt het MDC, samen met de andere betrokken partijen, gebruik van Ratio sessies en Event Maps. Hoewel deze aanpak geschikt is om een gezamenlijk beeld van de stand van zaken te onderhouden, bevatten de Event Maps geen specifieke informatie over welke op probleemonderzoek gerichte activiteiten door wie, middels welk tijdspad en met welke beoogde uitkomst worden uitgevoerd. Dit belemmert het inzicht in de stand van zaken van de probleemanalyse.
- Indien er een oplossing voor een probleem beschikbaar is, zal deze landelijk (in het operationele netwerk) moeten worden doorgevoerd om het effect hiervan te kunnen bepalen aan de hand van gemelde incidenten. Voordat een oplossing wordt doorgevoerd wordt daarbij eerst zeker gesteld dat dit geen andere (nieuwe) problemen zal veroorzaken. Hiertoe wordt de oplossing eerst uitgevoerd in een testomgeving en wordt er een risicoanalyse gemaakt. Met de gehele procedure van oplossing tot de evaluatie is dan ook enige tijd gemoeid.
- Na het doorvoeren van wijzingen in het C2000 netwerk wachten de betrokken partijen doorgaans op eventuele meldingen van gebruikers om te constateren of het probleem zich nog steeds voordoet. Bij het uitblijven van meldingen wordt ervan uitgegaan dat het probleem is verholpen.

Specifiek voor de vier geselecteerde problemen geldt dat in de meeste gevallen op basis van de beschikbare informatie en het tot nu toe uitgevoerde onderzoek geen uitsluitel kan worden gegeven over oorzaken (*root causes*). Wel zijn er, soms sterke, aanwijzingen voor mogelijke oorzaken en gericht nader onderzoek:

- Het probleem met de foutieve interpretatie van buurcelinformatie (PM10441) is waarschijnlijk ontstaan door het gebruik van features in het Hytera netwerk (fragmentatie), die niet aanwezig waren in het Motorola netwerk, waar randapparatuur niet goed mee overweg blijkt te kunnen. Als oplossing voor deze problemen worden deze features uitgezet en niet langer gebruikt. Dit is een mitigatiemaatregel en neemt niet de onderliggende oorzaken van deze problemen weg. Als voor de toekomst deze efficiëntie verhogende features van

- belang worden geacht, zullen alsnog de onderliggende problemen bij de randapparatuur moeten worden opgelost.
- De oorzaak van het probleem met het rode kruis op Sepura radio's (PM10531) is waarschijnlijk de slechte ontvangst van het controlekanaal. Onderzocht zou moeten worden waarom dit probleem specifiek bij Sepura randapparatuur optreedt. Mogelijk heeft Sepura randapparatuur een slechtere ontvangstgevoeligheid of hogere gevoeligheid voor bepaalde vormen van interferentie waardoor dit probleem sneller optreedt.
 - Release 10.01.03 (voorheen hotfix 22) bevat een mogelijke oplossing voor de meeste van de geselecteerde problemen, maar is pas in december 2020 uitgevoerd. Hierna kan pas worden vastgesteld in welke mate hiermee de problemen zijn afgenomen.
 - De Sepura tool Sail blijkt minder waar te kunnen nemen dan de Motorola tool Scout, zoals het verdwijnen van buurcelinformatie (PM10430), waardoor een oorzaak soms alleen bij Motorola randapparatuur kan worden vastgesteld met de tool Scout en niet voor Sepura randapparatuur.

Aanbevelingen

Op basis van het onderzoek en de conclusies doet TNO aanbevelingen voor de registratie van incidenten, aanbevelingen voor het uitgevoerde en uit te voeren onderzoek om de oorzaken van verbindingsproblemen te achterhalen en weg te nemen, en aanbevelingen voor de wijze waarop verbindingsproblemen worden geanalyseerd.

Aanbevelingen voor de registratie van incidenten:

- Stimuleer de meldbereidheid en registreer elke individuele melding zodat het beeld van de omvang van problemen betrouwbaarder wordt.
- Vul de incidentregistratie aan met metingen ten aanzien van de operationele performance van het netwerk zodat een beter beeld ontstaat van de omvang van verbindingsproblemen (zie TNO-rapport [referentie invoegen zodra het rapport beschikbaar is]).

Aanbevelingen voor het uit te voeren onderzoek:

- Voer onderzoek uit naar Sepura randapparatuur in vergelijking met Motorola randapparatuur en ga na of de Sepura apparatuur een slechtere ontvangstgevoeligheid heeft of gevoeliger is voor bepaalde vormen van interferentie.
- Ga met Sepura na of het mogelijk is het gedrag van de randapparatuur aan te passen ten aanzien van het volledige versus gedeeltelijk scannen van kanalen.
- Als het van belang is om in de toekomst wel gebruik te kunnen maken van de efficiëntie verhogende features die het Hytera netwerk biedt (fragmentatie berichten en *slot/carrier ramping*), verdient het aanbeveling om hiervoor een testprocedure te (laten) ontwikkelen, hetzij via TCCA of door Hytera, en vervolgens onderdeel te maken van de CTK-procedure voor randapparatuur.
- Pas de CTK-procedure aan voor het nieuwe Hytera netwerk en certificeer de bestaande randapparatuur opnieuw.
- De Sepura tool Sail kan, vergeleken met de Motorola tool Scout, bepaalde zaken niet waarnemen zoals het verdwijnen/ontbreken van buurcel informatie. Omdat dit probleem zich kan blijven voordoen bij slechte verbindingen bestaat er geen mogelijkheid om dit bij probleem bij Sepura randapparatuur vast te stellen of uit te sluiten. Gezien het belang van deze tools (ook in de toekomst)

die veel informatie kunnen bieden over wat zich in de randapparatuur afspeelt, verdient het aanbeveling de Sepura tool op een hoger niveau te brengen.

- Ga na of de testomgeving de mogelijkheid kan bieden om (bestaande) randapparatuur ook specifiek te testen op de nieuwe features waarvan het Hytera netwerk gebruik kan maken (*fragmentatie* en *slot/carrier bursting*) zodat dit als onderdeel van de CTK voor randapparatuur kan worden opgenomen.
- Zet het onderzoek naar oorzaken van slechte verbindingen voort:
 - Ga na waar gebieden zijn met slechte dekking en/of een verhoogde ruisvloer;
 - Ga na wat de mogelijke oorzaken zijn van de verhoogde ruisvloer;
 - Ontwikkel op grond van mogelijk te onderscheiden bronnen die interferentie veroorzaken en hun karakteristieken een meetprocedure waarmee de oorzaak van interferentie (of een slechte dekking) kan worden vastgesteld in een gebied waar zich veel problemen voordoen.
- Zorg dat bij toekomstige wijzigingen van het frequentieplan een onafhankelijke review wordt uitgevoerd.

Aanbevelingen voor het proces van probleemanalyse:

- Neem als onderdeel van de Event Maps een overzicht op van alle uitstaande activiteiten inclusief actiehouders, status, tijdlijnen en (beoogde) uitkomsten.
- Wacht na wijzigingen aan het netwerk niet af of klachten zich opnieuw voordoen maar onderzoek waar mogelijk proactief of problemen zich na een wijziging nog voordoen.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	Onderzoeksvragen	8
1.3	Beperkingen van het onderzoek	8
1.4	Opbouw van het rapport	9
2	Aanpak	10
2.1	Onderzoek probleemanalyse	10
2.2	Evaluatie testomgeving	10
2.3	Review pilot	10
3	Verbindingsproblemen C2000	11
3.1	Meldingen en incidentregistratie	11
3.2	Incidenten gekoppeld aan de vier geselecteerde problemen	12
3.3	Totaalbeeld incidenten	13
3.4	Conclusie	16
4	Uitkomsten onderzoek probleemanalyse	17
4.1	Overzicht mogelijke oorzaken	17
4.2	Analyse mogelijke oorzaken in het netwerk	18
4.3	Analyse mogelijke oorzaken interoperabiliteit	24
4.4	Randapparatuur	26
4.5	Omgeving	27
4.6	Mogelijke oorzaken van de geselecteerde problemen	28
4.7	Conclusies	30
5	Uitkomsten evaluatie testomgeving	33
6	Uitkomsten review pilot carrier ramping	34
7	Conclusies en aanbevelingen	35
7.1	Conclusies	35
7.2	Aanbevelingen	36
8	Ondertekening	38
	Bijlage(n)	
	A Beschikbaar gestelde documenten en referenties	

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Sinds de migratie van het C2000 netwerk op 28 januari 2020 hebben zich problemen voorgedaan zoals verlies van verbindingen en matige audiokwaliteit. In de intensieve nazorgperiode na de migratie (van 28 januari tot 1 juli 2020) en de periode daarna zijn wijzigingen doorgevoerd die deze problemen deels hebben verholpen. Vanuit het programma Implementatie Vernieuwing C2000 (IVC) is aangegeven dat gebruikers, ondanks deze wijzigingen, alsnog problemen ervaren. De zogenaamde verbindingsproblemen worden als meest verstorend ervaren. Daaraan gerelateerd ervaren gebruikers soms ook verminderde audiokwaliteit. De problemen zijn conform ITIL geregistreerd en gedefinieerd als *problem*. Het ministerie van Justitie en Veiligheid, opdrachtgever van dit onderzoek, heeft op 15 juli 2020 aan TNO aangegeven behoefte te hebben aan een onafhankelijk technisch onderzoek naar de achterliggende oorzaken van vijf specifieke *problems* die naar verwachting de meest(e) verstorende gebruikersproblemen veroorzaken.

Naar aanleiding van deze opdracht heeft TNO verkennend onderzoek uitgevoerd naar de aangegeven *problems*. De uitkomsten van deze verkenning zijn samengevat in de presentatie *Onderzoek Gebruikersproblemen en Prestatie-indicatoren C2000. 18 september 2020. Resultaten Fase 1. Den Haag: TNO* [46]. Op basis van de verkenning heeft TNO geadviseerd onderzoek te doen naar vier specifieke problemen (hierna geselecteerde problemen), twee pilots te reviewen en een evaluatie van de C2000 testomgeving uit te voeren. Meer specifiek betreft dit:

Te onderzoeken onderwerpen	Omschrijving
Problem PM10430	Geen of late handover vanwege ontbreken buurcelinformatie.
Problem PM10441	Randapparaat interpreteert buurcelinformatie foutief.
Problem PM10477	Verstuurde statusberichten komen soms niet aan.
Problem PM10531	Rood kruis en lange hersteltijd op Sepura radio's.
Pilot verhogen <i>output power</i>	Test met het verhogen van de output power om het signaal van C2000 masten te versterken.
Pilot <i>carrier ramping</i>	Test van het inschakelen van <i>carrier ramping</i> als alternatief van het uitgeschakelde <i>slot ramping</i> .
C2000 Testomgeving	Testomgeving voor het C2000 netwerk in beheer bij MDC.

Naar aanleiding van dit advies heeft het programma IVC op 30 september aan TNO de opdracht gegeven dit onderzoek uit te voeren.

1.2 Onderzoeksvragen

Voor het onderzoek zijn bij aanvang de volgende onderzoeksvragen opgesteld:

- 1 Wat zijn de oorzaken van de geselecteerde problemen (PM10430, PM10441, PM10477 en PM10531)?
 - a. Welk eventueel vervolgonderzoek is nodig om de oorzaken te kunnen achterhalen?
 - b. Welke verbeteringen zijn mogelijk in de aanpak (proces probleemanalyse) die door IVC, MDC en de vernieuwingspartijen wordt gehanteerd om de problemen te analyseren?
- 2 Kan de testomgeving worden gebruikt voor aanvullend onderzoek ten aanzien van de geselecteerde problemen? Zo ja, hoe?
- 3 Wat is het effect van het verhogen van de output power in hoeverre vormt dit een oplossing voor de geselecteerde problemen?
- 4 Wat is het effect van het inschakelen van carrier ramping op het functioneren van het C2000 netwerk?

Tijdens de uitvoering van het onderzoek is gebleken dat de output power van antennes een beperkt probleem lijkt te vormen ten opzichte van het ruisniveau (de ruisvloer) die op sommige locaties dermate hoog is dat de *uplink* (het signaal van een randapparaat naar een mast) wordt verstoord. De pilot van het verhogen van de output power van antennes en daarmee onderzoeksvraag 3 is daarom komen te vervallen. De metingen ten aanzien van het ruisniveau zijn onderdeel gemaakt van dit onderzoek.

De pilot ten aanzien van *carrier ramping* is niet uitgevoerd tijdens de looptijd van het onderzoek en daarom niet onderzocht. IVC, MDC en de gebruikers in de pilot omgeving zijn nog in overleg over de planning.

1.3 Beperkingen van het onderzoek

Uit het verkennend onderzoek van TNO is gebleken dat de relatie tussen de klachten van gebruikers, geregistreerde incidenten en de geselecteerde problemen diffuus is. Incidenten zoals het verlies van verbinding tussen een randapparaat en het netwerk kunnen vaak niet of met weinig zekerheid aan specifieke problemen worden gekoppeld omdat de oorzaak voor de gebruiker niet zichtbaar is. In sectie drie van dit rapport wordt nader ingegaan op deze relatie. Door de afwezigheid van een duidelijk verband tussen klachten, incidenten en problemen is het niet mogelijk vast te stellen hoeveel klachten het oplossen van de geselecteerde problemen daadwerkelijk voorkomt.

Tijdens de uitvoering van het onderzoek is door enkele betrokkenen aangegeven een oordeel van TNO te verwachten over de algehele kwaliteit van het netwerk of de betrokken partijen. Ongeacht of een dergelijk generiek oordeel kan worden geveld, is dit niet de opdracht van TNO. Het onderzoek richt zich uitsluitend op de oorzaak van de geselecteerde problemen en de wijze waarop deze door de betrokken partijen worden geanalyseerd en opgelost.

1.4 Opbouw van het rapport

Hoofdstuk 2 beschrijft de aanpak van het onderzoek. Hoofdstuk 3 en 4 gaan in op de analyse van de geselecteerde problemen. Daartoe wordt in hoofdstuk 3 eerst een analyse van de geregistreerde incidenten gepresenteerd en wordt vervolgens in hoofdstuk 4 de analyse van mogelijke oorzaken achter de geselecteerde problemen uiteengezet. Hoofdstuk 5 beschrijft de observaties van TNO ten opzichte van de C2000 testomgeving en hoofdstuk 6 is gereserveerd voor de uitkomsten van de review van de nog door MDC en Hytera uit te voeren pilot ten aanzien van *carrier ramping*. Hoofdstuk 7 geeft een overzicht van de conclusies en aanbevelingen voor verbeteringen en vervolgonderzoek.

Het rapport heeft 1 bijlage:

A. Een lijst van de ontvangen documenten.

2 Aanpak

2.1 Onderzoek probleemanalyse

Het voornaamste doel van het uitgevoerde onderzoek is het achterhalen van de technische oorzaken (*root causes*) van de geselecteerde problemen. *Root cause analysis* is onderdeel van *problem management* zoals beschreven in ITIL [38] maar ITIL biedt weinig specifieke richtlijnen voor de aanpak en het proces van *root cause analysis*. Een aanvullende aanpak is daarom wenselijk.

In de inventarisatie van de stand van zaken ten aanzien van de geselecteerde problemen door TNO [46] is naar voren gekomen dat de geselecteerde problemen meerdere, (deels) overlappende of verschillende oorzaken kunnen hebben. Ook is gebleken dat al verschillende onderzoeken zijn uitgevoerd en wijzingen zijn doorgevoerd om mogelijke oorzaken van verbindingsproblemen weg te nemen. Gezien deze situatie is ervoor gekozen een aanpak te hanteren die 1) de verschillende mogelijke oorzaken (visueel) inzichtelijk maakt en 2) focust op het aantoonbaar uitsluiten van mogelijke oorzaken.

Voor het visueel inzichtelijk maken van mogelijke oorzaken wordt gebruik gemaakt van zogenaamde Fishbone diagrammen. Fishbone diagrammen helpen om de relatie tussen een gevolg (probleem) en meerdere oorzaken te visualiseren en eventuele relaties tussen verschillende (mogelijk) oorzaken weer te geven. Voor het aantoonbaar uitsluiten van mogelijke oorzaken is geen specifieke methode gehanteerd maar eerst een overzicht van alle mogelijke oorzaken opgesteld. Vervolgens is op basis van de beschikbaar gestelde informatie (meetgegevens, testverslagen, logs, incidentbeschrijvingen en interviews) gekeken welke mogelijke oorzaken kunnen worden uitgesloten.

2.2 Evaluatie testomgeving

Het doel van de evaluatie van de testomgeving is te bepalen of deze kan worden ingezet voor nader onderzoek naar de geselecteerde problemen. Aan de hand van het overzicht van mogelijke oorzaken van de geselecteerde problemen is nagegaan welk onderzoek in de testomgeving mogelijk is, welke aanpassingen daar eventueel voor nodig zijn en welk resultaat het aanvullende onderzoek naar verwachting oplevert.

2.3 Review pilot

De pilot ten aanzien van *carrier ramping* is bedacht en georganiseerd door IVC, MDC en de vernieuwingspartijen om te toetsen of *carrier ramping* een waardevol alternatief vormt voor *slot ramping*. Het doel van de review van deze pilot door TNO is het vertrouwen in de uitkomsten te vergroten. TNO zal daartoe de plannen van aanpak van de pilot beoordelen op duidelijkheid en inhoudelijke juistheid. De uitkomsten van de pilot zullen ook worden beoordeeld op duidelijkheid en volledigheid.

3 Verbindingsproblemen C2000

In dit onderzoek staan vier specifiek gedefinieerde verbindingsproblemen centraal. Zoals al geconcludeerd in het verkennend onderzoek [46], is het verband tussen deze vier specifieke problemen en het totaalbeeld van verbindingsproblemen sinds de migratie van C2000 diffuus. Dit komt met name doordat de oorzaak van een verbindingsprobleem voor de gebruiker vaak niet zichtbaar is. Meldingen kunnen daarom niet in alle gevallen aan specifieke problemen worden gekoppeld. Om een zo goed mogelijk inzicht te geven in de omvang van de geselecteerde problemen en hun ontwikkeling door de tijd, wordt in dit hoofdstuk eerst ingegaan op de wijze waarop meldingen worden geregistreerd. Daarna volgt een analyse van incidenten gerelateerd aan de vier geselecteerde problemen. Daarbij wordt ook ingegaan op het totaalbeeld van incidenten gerelateerd aan verbindingsproblemen en hoe dit beeld zich sinds de migratie heeft ontwikkeld.

3.1 Meldingen en incidentregistratie

Het melden van verstoringen en andere problemen in C2000 gebeurt via een proces dat is ingericht conform het ITIL (Information Technology Infrastructure Library) referentiekader [38]. Meldingen worden als incident geregistreerd en komen uit drie bronnen. Ten eerste kunnen gebruikers van C2000, zowel hulpverleners in het veld als centralisten, meldingen doen als het systeem niet naar verwachting werkt. Ten tweede kunnen alarmen uit C2000 systemen geregistreerd worden als incident. En ten derde kunnen incidenten ook worden geregistreerd tijdens onderhoudswerkzaamheden door experts of leveranciers. Alle geregistreerde incidenten worden bijgehouden in een incidentregistratie.

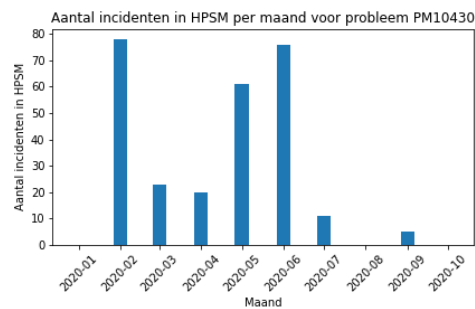
Meldingen van eindgebruikers worden geregistreerd door lokale beheerders (meldkamers). Door het lokale beheer wordt een eerste triage uitgevoerd waarna meldingen worden doorgezet naar het Meldkamer Monitoring Center (MMC). Na registratie van een melding door het MMC wordt een triage uitgevoerd en kan een melding als incident worden aangemerkt. Als meerdere meldingen over hetzelfde incident gaan, dan kunnen deze gebundeld worden en als één incident worden geregistreerd. Tijdens de triage (en latere probleemdiagnose) kunnen incidenten aan zogenaamde *problems* gekoppeld worden. *Problems* zijn bestaande problemen, bekend bij beheer, die incidenten kunnen veroorzaken. Niet elk incident kan aan een bekend probleem worden gekoppeld, bijvoorbeeld wanneer de oorzaak niet bekend is of de relatie tussen een incident en een probleem niet duidelijk is. In sommige gevallen zijn incidenten gekoppeld aan twee of meer problemen.

De incidentregistratie is het enige omvattende en structureel bijgehouden overzicht van verbindingsproblemen in C2000. De incidentregistratie heeft een aantal beperkingen. Ten eerste wordt niet elke klacht gemeld en kunnen meerdere meldingen worden gekoppeld aan één incident. Het aantal klachten kan daardoor hoger zijn dan het aantal meldingen en het aantal meldingen hoger dan het aantal incidenten. Ten tweede kunnen alarmen en onderhoudsmeldingen als incident worden geregistreerd terwijl deze door gebruikers niet zijn opgemerkt. Het aantal incidenten zou daardoor hoger kunnen zijn dan het aantal door gebruikers ervaren verbindingsproblemen. Ten derde kunnen incidenten niet altijd (met zekerheid) aan

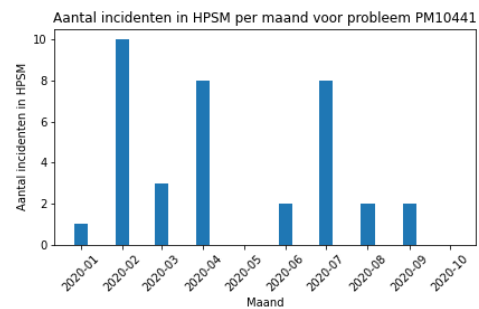
bekende problemen worden gekoppeld waardoor het aantal incidenten per bekend probleem (*problem*) een schatting betreft waarvan de betrouwbaarheid per probleem verschilt.

3.2 Incidenten gekoppeld aan de vier geselecteerde problemen

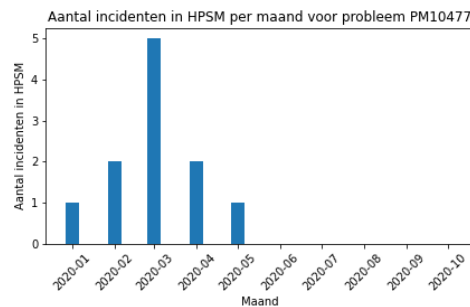
Onderstaande vier figuren geven het aantal geregistreerde incidenten door de tijd weer die zijn gekoppeld aan de vier geselecteerde problemen.



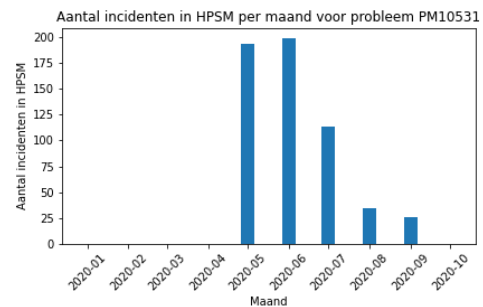
Figuur 1 Geen of late handover vanwege ontbreken buurcelinformatie.



Figuur 2 Randapparaat interpreteert buurcelinformatie foutief.



Figuur 3 Verstuurde statusberichten komen soms niet aan.

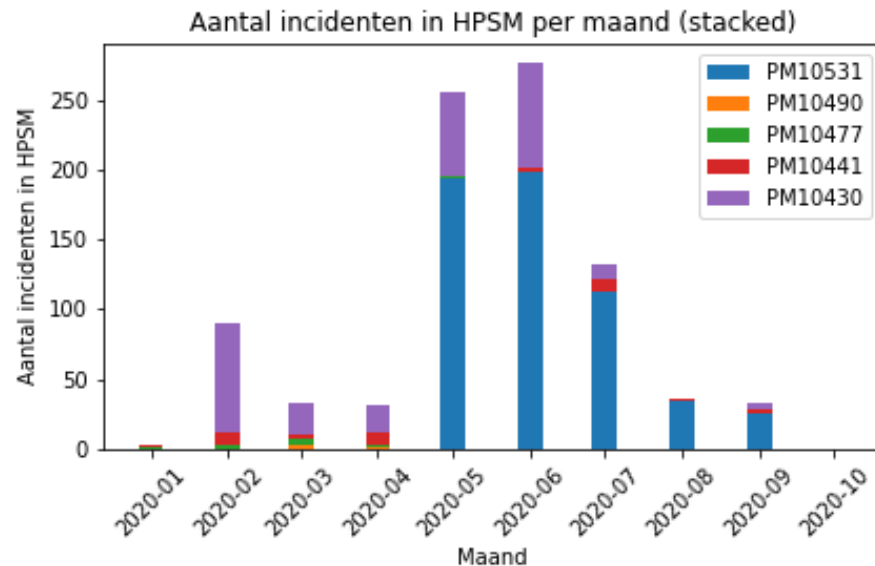


Figuur 4 Rood kruis en lange hersteltijd op Sepura radio's.

De waarden op de verticale assen laten zien dat het om uiteenlopende aantallen gaat. Aan de problemen met foutieve interpretatie van buurcelinformatie (figuur 2) en het niet aankomen van verstuurde statusberichten (figuur 3) zijn enkele incidenten per maand gekoppeld. Het aantal incidenten dat is gekoppeld aan het probleem van de late handover (figuur 1) varieert sterk met uitschieters tot bijna 80 incidenten per maand. Incidenten van het probleem met een rood kruis op de Sepura radio's (figuur 4) zijn vanaf mei geregistreerd omdat dit probleem pas vanaf dat moment als uniek probleem werd onderkend. Voor dit probleem zijn ongeveer 180 incidenten in mei en juni geregistreerd met daarna een afname tot ongeveer 20 incidenten in de maand september.

De trend in de tijd die zichtbaar is over de horizontale as vertoont in het geval van de problemen met de late handover en foutieve interpretatie van buurcelinformatie (figuren 1 en 2) geen duidelijk patroon. Het probleem met het niet aankomen van verstuurde statusberichten (figuur 3) lijkt een piek in maart te hebben maar omdat het om zeer lage aantallen gaat, is dit patroon van beperkte waarde. Alleen de incidenten ten aanzien van een rood kruis op Sepura radio's (figuur 4) laten een duidelijke afname zien in de maanden juli, augustus en september.

Het gecombineerde aantal geregistreerde incidenten ten aanzien van de geselecteerde problemen is weergegeven in onderstaand figuur 5.



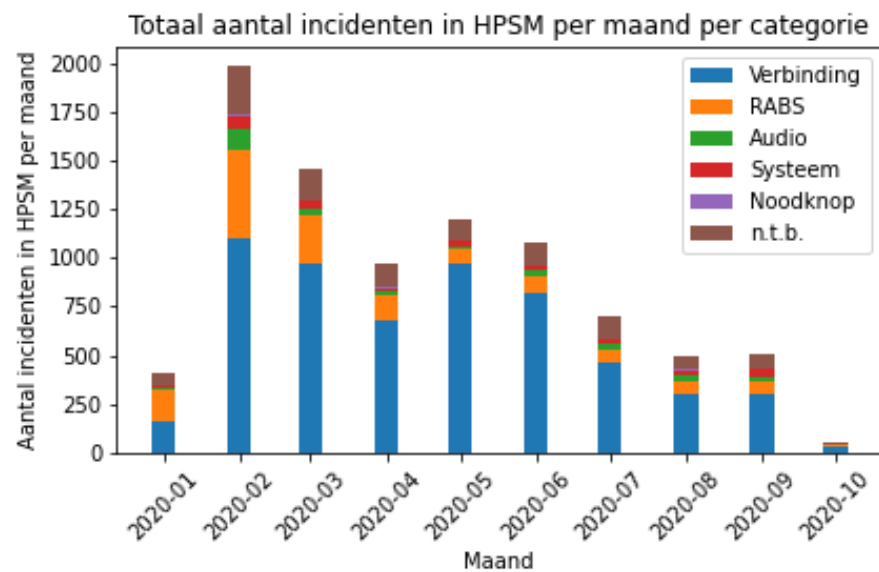
Figuur 5 Totaal aantal geregistreerde incidenten gekoppeld aan de geselecteerde problemen per maand.

Naast de vier geselecteerde problemen die hiervoor zijn behandeld, is het probleem van een lange piep in gesprekken tussen de meldkamer en radio's (PM10490) in dit overzicht opgenomen. Dit probleem wordt in dit onderzoek niet nader onderzocht maar is opgenomen omdat het de aanleiding vormde voor het uitschakelen van *slot ramping* en de pilot met het inschakelen van *carrier ramping*.

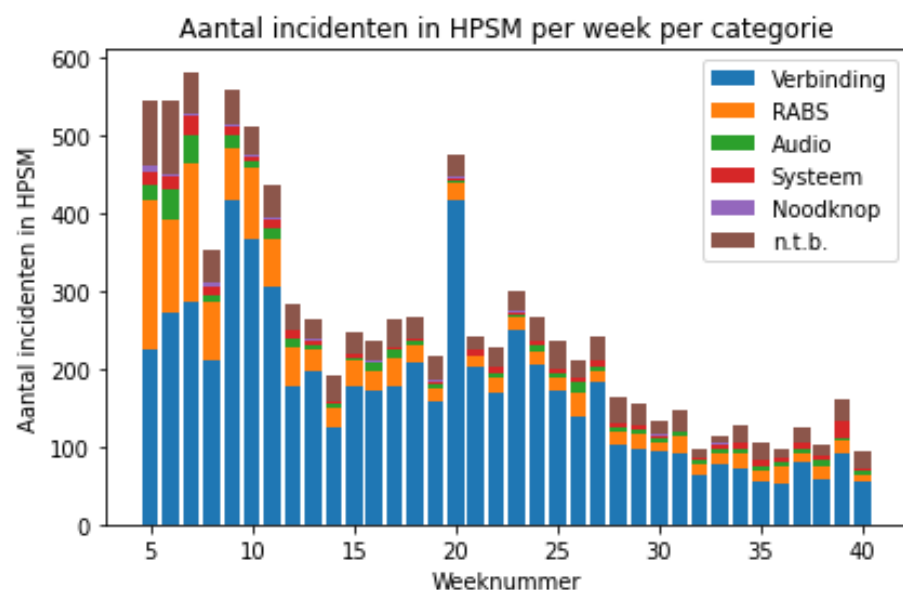
Het opgetelde aantal geregistreerde incidenten gekoppeld aan deze vijf problemen varieert van enkele tientallen tot bijna 300. De spreiding wordt grotendeels verklaard door de uitschieters van het aantal geregistreerde incidenten van het probleem met het rode kruis op Sepura radio's (PM10531) in mei en juni en het aantal incidenten ten aanzien van het handover probleem (PM10430) in februari, mei en juni. Incidenten met betrekking tot PM10531 waren er vanaf de migratie, maar zijn door de beknopte beschrijvingen van de klachten, niet als eigenstandig probleem opgevallen. Pas nadat Sepura een aantal logfiles had bekeken en geconcludeerd dat het niet aan de "buurcelproblemen" lag (10430 en 10441) is het als apart probleem benoemd [54].

3.3 Totaalbeeld incidenten

Om inzicht te krijgen in de omvang van de geselecteerde verbindingsproblemen in relatie tot het totaal van problemen in C2000, is in onderstaande figuren 6 en 7 een overzicht gemaakt van het totaal aantal geregistreerde incidenten door de tijd, opgesplitst naar zes categorieën: verbindingsproblemen, problemen met het radio bedieningssysteem (RABS), audioproblemen, systeemproblemen, problemen met de noodknop en overige.



Figuur 6 Totaal aantal geregisterde incidenten per maand per categorie.

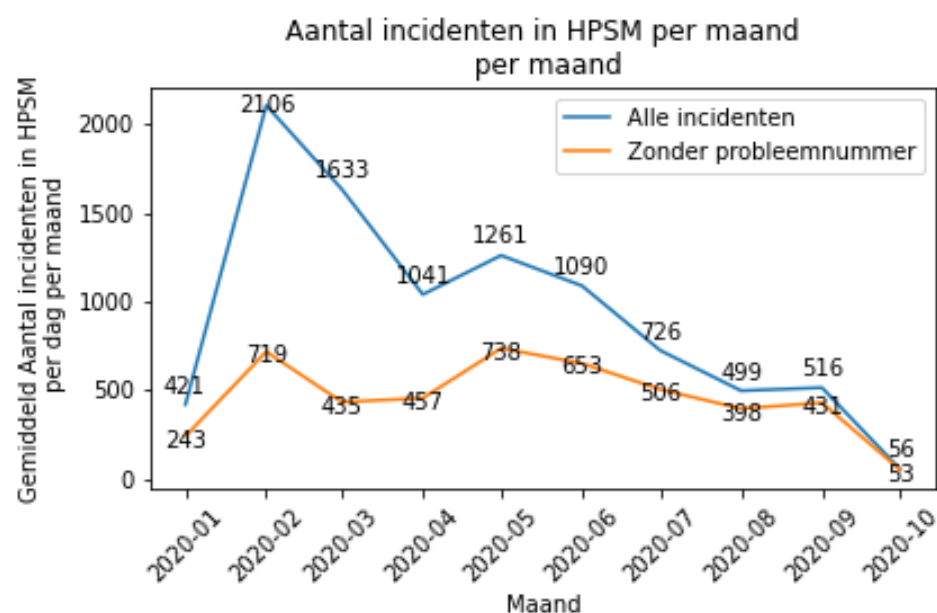


Figuur 7 Totaal aantal geregistreerde incidenten per week per categorie.

De overzichten zien dat de meest omvangrijke categorie bestaat uit geregistreerde incidenten ten aanzien van verbindingsproblemen, gevolgd door problemen met het radio bedieningssysteem (RABS) en overige problemen. Het aantal geregistreerde incidenten ten aanzien van problemen met het radio bedieningssysteem zijn in de twee maanden na de migratie afgenomen terwijl het aantal incidenten van verbindingsproblemen aanvankelijk afnam maar weer hoger kwam te liggen in mei en juni. Dit laatste kan worden verklaard door de 'week van het melden' (week 20) waarin gebruikers is gevraagd alle ervaren problemen nauwgezet te melden. De afname van het aantal verbindingsproblemen vanaf juli zou kunnen zijn veroorzaakt door wijziging van het frequentieplan en het doorvoeren van andere wijzigingen aan het netwerk.

Het totaal aantal geregistreerde incidenten in de categorie verbindingsproblemen overstijgt het aantal geregistreerde incidenten gekoppeld aan de vier voor dit onderzoek geselecteerde verbindingsproblemen aanzienlijk (circa 1100 verbindingsprobleem gerelateerde incidenten ten opzichte van circa 100 geregistreerde incidenten gekoppeld aan de geselecteerde problemen in februari, circa 1000 verbindingsprobleem gerelateerde incidenten ten opzichte van 250 geregistreerde incidenten gekoppeld aan de geselecteerde problemen in juni, etc.).

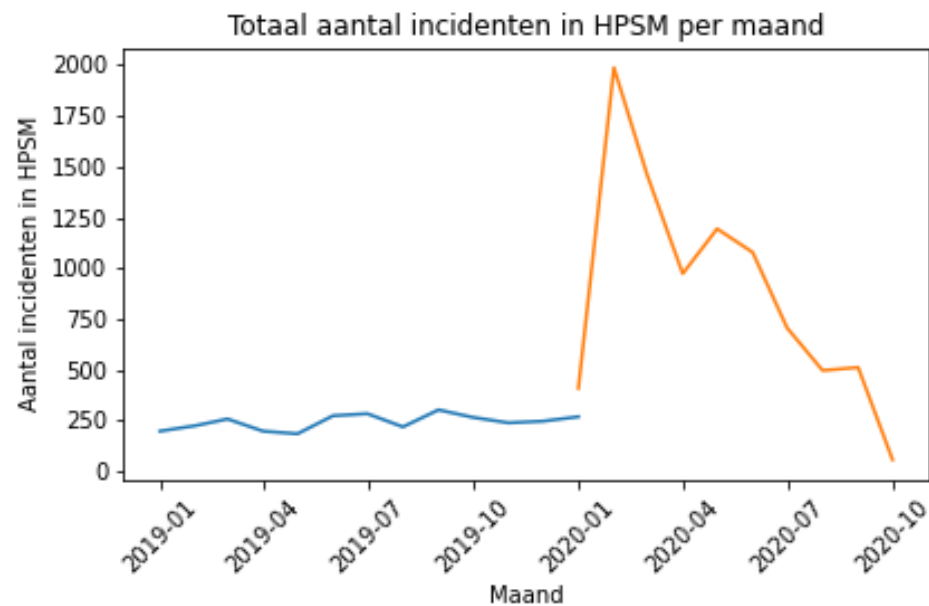
Van het totaal aantal geregistreerde incidenten kon dus slechts een deel aan bekende problemen worden gekoppeld. Onderstaand overzicht in figuur 8 geeft weer hoe het aantal geregistreerde incidenten dat aan een bekend probleem kan worden gekoppeld zich verhoudt tot het totaal aantal geregistreerde incidenten.



Figuur 8 Totaal aantal geregistreerde incidenten per maand gekoppeld aan bekende problemen en zonder probleemnummer.

Het overzicht laat zien dat het aantal geregistreerde incidenten dat niet aan een bekend probleem gekoppeld kan worden relatief stabiel blijft door de tijd terwijl het aantal geregistreerde incidenten dat aan een bekend probleem kan worden gekoppeld afneemt.

Naast het totaal aantal geregistreerde incidenten sinds de migratie van het C2000 netwerk is gekeken naar de verhouding van het aantal geregistreerde incidenten sinds de migratie ten opzichte van de periode voor de migratie. Onderstaand overzicht in figuur 9 laat zien dat het totaal aantal geregistreerde incidenten in het jaar voorafgaand aan de migratie varieerde tussen de 200 en 300 incidenten per maand. Na de migratie is een duidelijk piek zichtbaar tot ongeveer 2000 geregistreerde incidenten per maand, gevolgd door een tweede piek met ruim 1000 geregistreerde incidenten per maand. Het aantal geregistreerde incidenten lag begin oktober – het laatste moment waarop de data voor dit onderzoek is ingezien – nog boven het gemiddelde niveau van 2019.



Figuur 9 Aantal geregisterde incidenten per maand voor en na de migratie.

3.4 Conclusie

Op basis van de analyse van geregisterde incidenten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De incidentregistratie biedt een uitgebreid en structureel bijgehouden overzicht van problemen met C2000 maar kent een aantal beperkingen waardoor de verhouding met het totaal aantal door de gebruikers ervaren problemen onzeker is. De piek van het aantal geregistreerde incidenten naar aanleiding van de ‘week van het melden’ doet vermoeden dat het aantal ervaren problemen hoger ligt dan het aantal geregistreerde incidenten.
- Het aantal geregisterde incidenten van problemen met C2000 kende een (zeer) sterke groei na de migratie en is sindsdien afgenomen tot net boven het niveau van het aantal geregisterde incidenten van voor de migratie. Belangrijke momenten waarop een afname van het aantal geregistreerde incidenten zichtbaar is zijn de start van de COVID-19 gerelateerde maatregelen in de samenleving en de invoering van een gewijzigd frequentieplan en andere wijzigingen in het netwerk halverwege juli.
- De koppeling tussen geregistreerde incidenten en bekende problemen is onzeker. Een significant deel van de geregistreerde verbinding gerelateerde incidenten is niet aan een bekend verbindingsprobleem gekoppeld terwijl er mogelijk wel een relatie bestaat. Dit maakt het effect van het oplossen van de vier (voor dit onderzoek) geselecteerde verbindingsproblemen op de ervaring van gebruikers met C2000 onzeker.
- Het aantal geregisterde incidenten dat aan een bekend probleem kan worden gekoppeld, neemt af terwijl het aantal geregisterde incidenten dat niet aan een bekend probleem gekoppeld kan worden min of meer gelijk blijft. Dit kan meerdere oorzaken hebben waaronder de mogelijkheid dat bekende problemen worden opgelost, dat er geen melding meer van wordt gedaan (meldingsmoeheid) of een combinatie van beide.

4 Uitkomsten onderzoek probleemanalyse

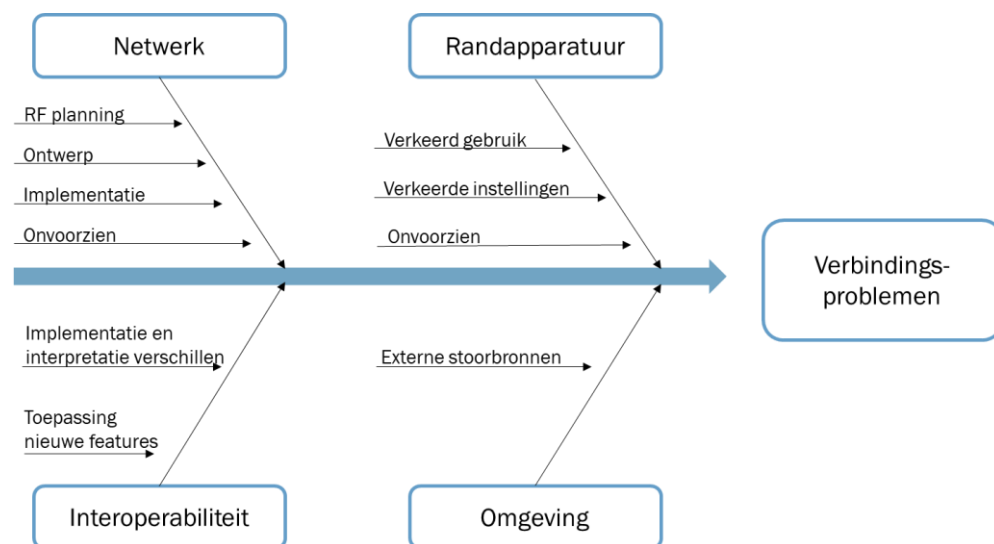
In dit hoofdstuk wordt allereerst een overzicht gegeven waar problemen zich in een mobiel netwerk voor kunnen doen en waarom. Voor het netwerk, de randapparatuur, de interoperabiliteit tussen netwerk en randapparatuur en de externe omgeving zal daarbij worden aangegeven welke mogelijke oorzaken **kunnen** leiden tot problemen. Dit is een algemeen referentiekader van toepassing op **elk** mobiel netwerk (bijv. ook 5G).

Vervolgens zal worden aangegeven welke onderzoeken/testen wel en niet hebben plaatsgevonden voor het nieuwe C2000 netwerk (door de partijen betrokken bij het C2000 netwerk) om te bepalen welke oorzaken hier (waarschijnlijk) wel of geen rol spelen bij de optredende problemen. Hierbij moet nog worden opgemerkt dat alleen die onderzoeken/testen zijn meegenomen waarvan documentatie is verstrekt. Uit gesprekken met Hytera, IVC en MDC blijkt er meer te zijn onderzocht/getest, maar dit is niet altijd in documentatie vastgelegd en derhalve ook niet door TNO te duiden.

Na de meer algemene analyse wordt op de specifieke geselecteerde problemen en hun waarschijnlijke oorzaken ingegaan.

4.1 Overzicht mogelijke oorzaken

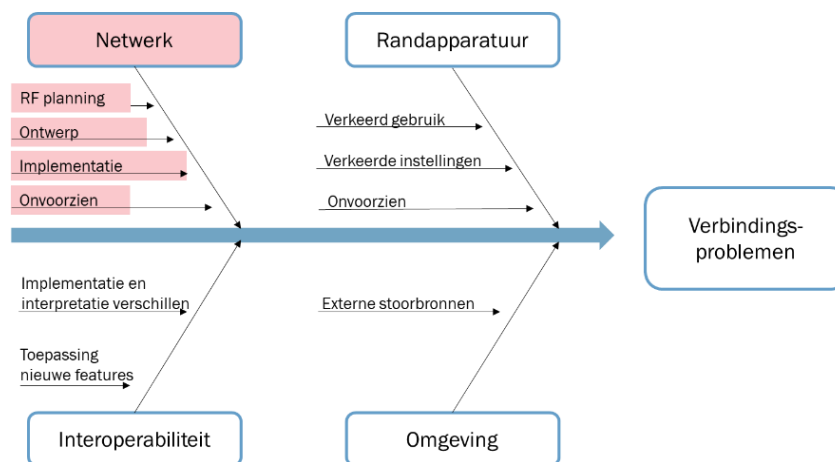
Als eerste stap in de probleemanalyse is een overzicht gemaakt van de mogelijke achterliggende oorzaken van verbindingsproblemen. Dit overzicht is visueel gemaakt met behulp van een Fishbone diagram in figuur 10. Problemen kunnen hun oorzaak vinden in het netwerk, de randapparatuur, de interoperabiliteit tussen netwerk en randapparatuur en de externe omgeving.



Figuur 10 Mogelijke oorzaken van verbindingsproblemen.

Voor elk van deze aspecten is nagegaan in hoeverre zij een rol kunnen spelen in verbindingsproblemen en daarmee een mogelijke oorzaak zouden kunnen zijn van de geselecteerde problemen.

4.2 Analyse mogelijke oorzaken in het netwerk



Het netwerk bestaat uit basisstations, die de draadloze mobiele verbindingen met de randapparatuur verzorgen, en het vaste netwerk dat de basisstations en de meldkamers onderling verbindt.

Voor het draadloze deel van het netwerk is een goede **RF-planning** (zoals toewijzing van frequenties en de te gebruiken zendvermogens door basisstations) van groot belang om overal in Nederland betrouwbare verbindingen te kunnen opzetten en te onderhouden met randapparatuur. De RF-planning vormt de basis van het netwerk en een slechte RF-planning vergroot de kans op verbindingproblemen. Door een beperkt beschikbaar spectrum (hergebruik frequenties) en het hergebruik van bestaande locaties voor basisstations kan het mogelijk zijn dat, zelfs met een goede RF-planning, niet alle problemen zijn te voorkomen maar deze kunnen wel worden geminimaliseerd.

Gerelateerd aan de RF-planning is het **ontwerp** van het basisstation waarmee aan de gehanteerde uitgangspunten (zoals bijv. ontvangstgevoeligheid) en de bepaalde instellingen (als zendvermogen) van de RF-planning kan worden voldaan. De componenten van het basisstation dienen het dynamisch bereik van de signalen aan te kunnen, zonder vervorming en zonder verstorende intermodulatieproducten te genereren.

Het is verder mogelijk dat in de praktijk na **implementatie** van het netwerk niet aan alle door de RF-planning bepaalde instellingen en aannames is voldaan, bijvoorbeeld doordat in het basisstation andere componenten zijn gebruikt (met andere specificaties) dan in het ontwerp zijn voorzien. Dit kan ertoe leiden dat er alsnog problemen optreden.

Daarnaast kunnen zich altijd problemen voordoen die **niet bij voorbaat zijn te voorzien**, zoals door nog onontdekte bugs in software.

Hoewel hier voornamelijk word ingegaan of het RF deel van het systeem kunnen er ook problemen ontstaan in de centrale infrastructuur, software en vaste verbindingen door defecte apparatuur, software bugs of verkeerde instellingen. Deze zijn impliciet meegenomen bij implementatie (sectie 4.2.3) en onvoorzien (sectie 4.2.4).

4.2.1 RF-planning

4.2.1.1 Mogelijke problemen

Het onvoldoende rekening houden met diverse van belang zijnde aspecten bij de RF-planning en het ontwerp van de basisstations kan leiden tot de volgende problemen:

- Zelf-interferentie

Zelf-interferentie kan worden veroorzaakt door het hergebruik van dezelfde frequenties/tijdsloten in meerdere basisstations, hetgeen noodzakelijk kan zijn door een beperkte beschikbaarheid van spectrum. Indien de basisstations die dezelfde frequenties/tijdsloten gebruiken te dicht bij elkaar liggen, zal de randapparatuur gelijktijdig zowel een gewenst signaal als ongewenste (interferentie) signalen ontvangen van de basisstations. Met name aan de rand van de cel, waar het gewenste signaal het zwakst is en de ongewenste signalen het sterkst, kan dit leiden tot een slechte audiokwaliteit en/of verbindingsproblemen.

- Onvoldoende dekking per cel

Dit kan optreden doordat bij de RF-planning onvoldoende rekening is gehouden met de afschermende werking van terrein en bebouwing. Dit kan een slechte audiokwaliteit en/of connectiviteitsproblemen veroorzaken in de gebieden die liggen in de 'schaduw' van terrein/bebouwing.

- Onvoldoende overlap tussen cellen

Dit kan als gevolg van onvoldoende dekking per cel optreden, wat kan leiden tot hand-over/roaming problemen¹ wanneer randapparatuur zich van de ene naar de andere cel beweegt.

Deze problemen kunnen afzonderlijk, maar ook in combinatie optreden.

Omdat het begrip dekking verschillend kan worden geïnterpreteerd, verdient het gebruik van dit begrip in dit rapport enige toelichting. Hier is dekking gedefinieerd als de minimaal benodigde signaalsterkte die nodig is om zonder interferentie een goede verbinding tot stand te brengen.

4.2.1.2 Analyse uitgevoerd onderzoek

Zelf-interferentie

Door Hytera is onderzoek verricht naar het verband tussen locaties met veel incidenten en het hergebruik van frequenties [17]. Dit laat zien dat:

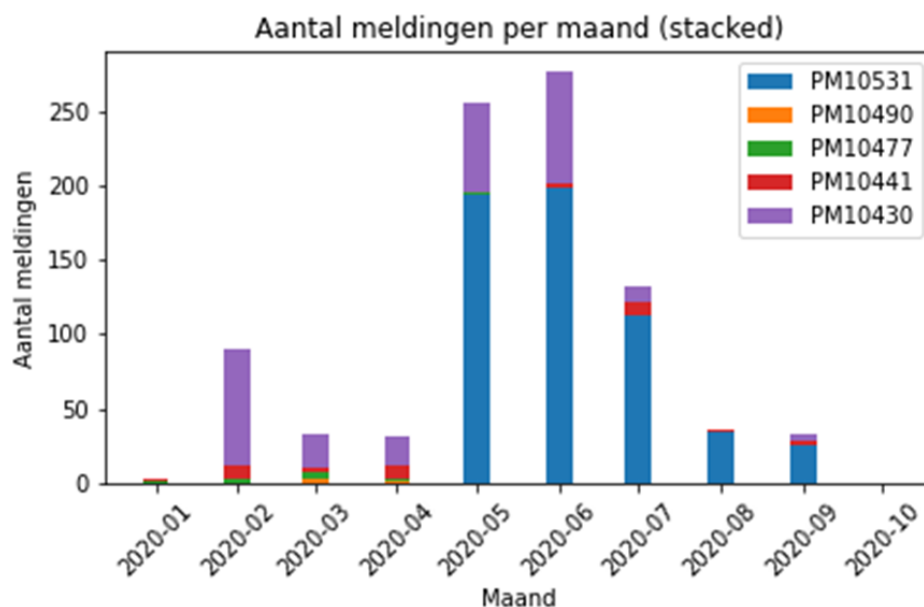
- Van de 605 onderzochte basisstations er in totaal 282 (47%) zijn waarvan een of meerdere frequenties worden hergebruikt binnen een afstand van 30 km,
- Van de 1386 onderzochte incidenten er 972 (70%) plaats vonden binnen een straal van 7 km van een basisstation waarvan een frequentie van de kanalen 1 t/m 3 werd hergebruikt binnen een afstand van 30 km, en
- De overige 30% van de incidenten vond plaats in de grensgebieden met België en Duitsland, wat kan duiden op mogelijke interferentie t.g.v. buitenlandse netwerken.

¹ In de TETRA-standard wordt het overschakelen van het ene (huidige) basisstation naar het beste buurstation aangeduid met een hand-over als er op dat moment geen call plaats vindt (idle mode) en met roaming als er op dat moment wel een call plaats vindt.

In een van de top 10 locaties (Rhooen) met veel incidenten [17] zijn verder metingen verricht [20], die aantonen dat er inderdaad sprake is van interferentie die de geregistreerde incidenten in Rhooen kunnen verklaren.

Uiteindelijk heeft dit geresulteerd in een wijziging van het frequentieplan op 15 juli 2020. Hiervoor is gebruik gemaakt van het frequentieplan van het voorgaande Motorola netwerk.

Gezien het aantal geregistreerde incidenten per maand, weergegeven in figuur 5 in sectie 3 en in onderstaande figuur, lijkt de wijziging van het frequentieplan in juli een duidelijk positief effect te hebben gehad op de problemen met de late hand-over (PM10430) en de foutieve interpretatie van buurcel informatie (PM10531). Van de overige geselecteerde problemen is aantal geregistreerde incidenten te laag om al een dergelijke uitspraak te doen, omdat andere factoren als meldingsmoeheid hierbij een grote(re) rol kunnen spelen.



Figuur 10 Aantal geregistreerde incidenten per maand voor de geselecteerde problemen [28].

Opgemerkt moet worden dat met het wijzigen van het frequentieplan tevens slot ramping is uitgezet (wordt later behandeld in sectie 4.3). Dit wordt als mogelijke oorzaak van PM10490 (harde piep op bestaand gesprek) gezien. Het is echter niet uitgesloten noch aangetoond dat slot ramping een mogelijke oorzaak kan zijn van de late hand-over (PM10430) en de foutieve interpretatie van buurcel informatie (PM10531).

Uit het aantal gemelde incidenten na Juli blijkt wel dat zelf-interferentie momenteel niet als mogelijke oorzaak van huidige problemen kan worden uitgesloten, mede omdat deze zeker niet langer kunnen zijn veroorzaakt door slot ramping (dat is uitgezet). Ook het beperkt beschikbare spectrum voor C2000, waardoor hergebruik van frequenties noodzakelijk is, maakt dat zelf-interferentie niet bij voorbaat als mogelijke oorzaak van problemen is uit te sluiten.

De indruk bestaat verder dat er bij het oorspronkelijke frequentieplan onvoldoende rekening is gehouden met het optreden van zelf-interferentie en dat dit frequentieplan niet is gecontroleerd door bijv. een externe partij.

Dekking

Sinds de migratie zijn geen landelijk dekkende metingen uitgevoerd om de door het netwerk geleverde dekking in geheel Nederland te controleren. Deze metingen moeten op termijn wel worden uitgevoerd als onderdeel van de oplevering van het vernieuwde C2000 netwerk. Voor het beheer van C2000 vormen meldingen een aanleiding om dekkingsproblemen te onderzoeken. Gebieden van waaruit veel incidenten met betrekking tot connectiviteitsproblemen worden gemeld, worden gezien als gebieden met een mogelijk dekkingsprobleem. Deze gebieden komen op de DIPP lijst². Het onderzoek naar de oorzaak van de incidenten in de DIPP gebieden gebeurt separaat (dit kost veel tijd en inspanning en gaat gepaard met een lange doorlooptijd). Het MDC heeft aangegeven dat, naar aanleiding van de meldingen sinds de migratie, het aantal locaties op de DIPP lijst is toegenomen van 23 tot circa 85.

Ook na de wijziging van het frequentieplan op 15 juli zijn er nieuwe probleemgebieden geïdentificeerd (PM10568, PM10491, PM10341, PM1755, PM10400, PM1486 en PM10230 [28]). De verwachting is niet dat deze zijn veroorzaakt door de wijziging van het frequentieplan, omdat dekkingsproblemen hoofdzakelijk worden bepaald door de signaalsterkte.

Aanvullende metingen zijn voor, zover ons bekend en gedocumenteerd, op enkele locaties uitgevoerd³. Zo zijn in Didam en Doetinchem metingen verricht door het MDC om de mogelijke oorzaken van onverwacht roaming/hand-over gedrag te bepalen in het kader van verschillende verbindingsproblemen waaronder het probleem met de late hand-over [14]. Uit de analyse van de meetresultaten door Hytera [19] blijkt dat in Didam sprake is van slechte dekking (Didam staat op de DIPP lijst), waarbij randapparatuur wisselend hand-over gedrag vertoont. Sommige randapparaten maken in deze situatie meer hand-overs dan andere. Van de geteste randapparaten reageerden de Motorola MTP6550 en Sepura STP9000 het rustigst (minste hand-overs) en de Sepura SRP2000 en Motorola MTP 850 het onrustigst (meeste hand-overs), waarbij voor de Motorola MTP850 een specifiek verbindingsprobleem (problem PM10430) is geconstateerd.

Gebieden met slechte dekking kwamen ook voor in het oude Motorola netwerk, waarvan er in de periode 2009-2014 ruim 60 zijn opgelost binnen het project ODIN⁴, waarna er nog ruim 30 resteerden. Door veranderingen in het landschap en bebouwing kunnen er in de tussentijd nieuwe gebieden met dekkingsproblemen zijn ontstaan.

Een slechte dekking als oorzaak van geregistreerde problemen is hiermee zeker nog niet uitgesloten.

² Dekkingsissue Prioritering Procedure

³ Er wordt door IVC aangegeven dat er meer metingen zijn uitgevoerd, maar dat deze door de omvang van de documenten niet aan TNO zijn verstrekt.

⁴ Oplossen Dekkings Issues Nederland, [Kamerstuk 25124, nr. 89 | Overheid.nl > Officiële bekendmakingen \(officielebekendmakingen.nl\)](#).

4.2.2 *Ontwerp*

4.2.2.1 *Mogelijke problemen*

Het is mogelijk dat het ontwerp van het basisstation niet geheel voldoet aan de uitgangspunten waarop de RF-planning is gebaseerd (bijv. onvoldoende uitgestraald vermogen door de antennes), wat kan leiden tot dekkingsproblemen.

Verder kan zelf-interferentie ook optreden bij het basisstation zelf, door de intermodulatieproducten die kunnen ontstaan bij het gelijktijdig actief zijn van meerdere zenders (backdoor intermodulatie) of door niet-lineaire componenten in de zendketen (PIM, bijv. in circulators, duplexers en switches). Deze intermodulatieproducten hebben zelf-interferentie tot gevolg indien ze liggen in de kanalen waarop het basisstation ontvangt.

4.2.2.2 *Analyse uitgevoerd onderzoek*

Het is niet duidelijk welke metingen er zijn verricht om te bepalen of een basisstation wel aan het ontwerp en de gestelde eisen voldoet, bijv. met een afname/verificatie test van het eerste basisstation, voordat het netwerk operationeel werd gesteld.

In beperkte mate heeft een dergelijke controle wel plaats gevonden nadat het netwerk al operationeel was, zoals tijdens de metingen in Didam en Doetinchem (het hierboven in sectie 4.2.1.2 onder Dekking genoemde onderzoek) waarbij vooraf tijdens een korte netwerkcheck van enkele basisstations de zendvermogens en de derde orde intermodulatie producten (IM3) zijn gemeten. Behalve voor twee defecte SCL-antennes zijn daarbij geen afwijkingen geconstateerd.

Er is verder door het IVC aangegeven dat de testomgeving wel uitgebreid is getest, maar dat documentatie ontbreekt over wat er precies is getest en op grond waarvan de testresultaten zijn beoordeeld.

Op grond van bovenstaande blijft het niet voldoen aan de eisen van basisstations een mogelijke oorzaak van problemen. Dit zal bij nadere onderzoeken/testen om de mogelijke oorzaak van problemen te vinden moeten worden meegenomen.

4.2.3 *Implementatie*

4.2.3.1 *Mogelijke problemen*

De eigenschappen van de basisstations kunnen bij implementatie afwijken van het ontwerp en die waarop de RF planning is gebaseerd. Hierbij valt te denken aan:

- 1 Afwijkingen in het uitgezonden vermogen (door basisstation), doordat componenten in de RF keten:
 - a. Afwijken of niet voldoen aan de specificaties en of aannames die bij het ontwerp zijn gemaakt (bijv. lengte van RF-kabels, defecte apparatuur),
 - b. Zijn gebruikt die niet zijn voorzien in het ontwerp maar in de praktijk nodig blijken zijn om bijv. het optreden van intermodulatieproducten te voorkomen/bestrijden.
- 2 Afwijkingen in de ontvangstgevoeligheid (van het basisstation), analoog aan de afwijkingen in uitgezonden vermogen.
- 3 Afwijkingen in aannames, bijv. het niet te allen tijde gesynchroniseerd zijn van de basisstations.

Deze afwijkingen kunnen, indien voldoende groot, impact hebben op de dekking per cel, de overlap tussen cellen en de zelf-interferentie.

4.2.3.2 *Analyse uitgevoerd onderzoek*

Gelijk aan de afnametests (zie 4.2.2.2) zijn er na implementatie van de basisstations (en voor in gebruik name) geen metingen verricht ter controle.

Wel is door Hytera naderhand de synchronisatie van basisstations gecontroleerd, waarbij alles in orde is bevonden. Hiervan ontbreekt echter de documentatie.

Hoewel er nog testen en checks zijn gepland, zijn momenteel implementatie afwijkingen als oorzaak van geregistreerde problemen niet uit te sluiten.

4.2.4 *Onvoorzien*

4.2.4.1 *Mogelijke problemen*

Onvoorziene – of deels onvoorziene – problemen kunnen optreden, onder andere door:

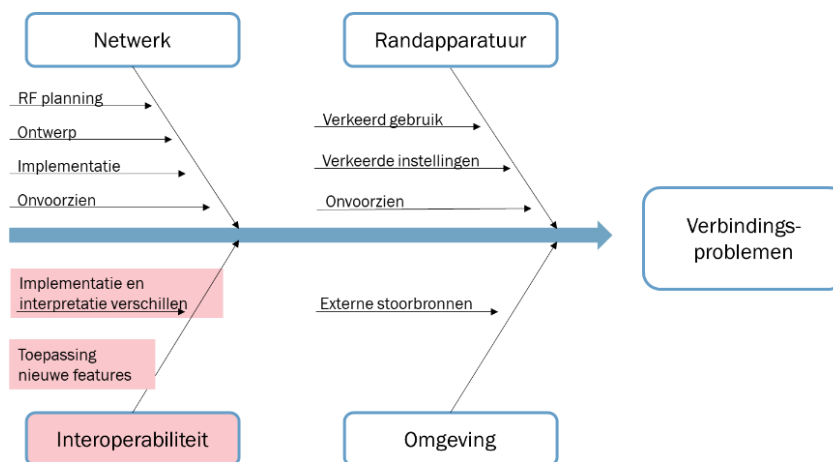
- 1 Onjuiste configuratie van de apparatuur (bijv. door menselijke fout).
- 2 Loszittende connectoren (onvoldoende aangedraaid).
- 3 Optreden van passieve intermodulatie (PIM) bij de basisstations:
 - a. assembly PIM, i.e. degradatie door slechte installatie of in de loop van de tijd door weersinvloeden o.a. bij connectoren;
 - b. rusty bolt PIM, i.e. reflecties via metalen objecten in de omgeving die bestaan uit verschillende metalen of uit delen die slecht contact met elkaar maken (bijv. door roest).
- 4 Optreden van nog niet eerder ontdekte (software) bugs.

4.2.4.2 *Analyse uitgevoerd onderzoek*

Onvoorziene problemen worden niet proactief onderzocht of getest. Wel worden bij nader onderzoek naar meldingen en problemen onvoorziene oorzaken zoals configuratiefouten gecontroleerd om als mogelijke oorzaak te worden uitgesloten.

Een voorbeeld van onvoorziene problemen betreft PM10533, die werden veroorzaakt door bepaalde race-condities in het Hytera netwerk en doordat basisstations tijdens de uitvoering van een update traag reageerden en niet op tijd (binnen 1 sec) een verbinding realiseerden. Voor deze problemen is inmiddels een oplossing.

4.3 Analyse mogelijke oorzaken interoperabiliteit



4.3.1 Mogelijke problemen

Zowel randapparatuur als het netwerk dienen te voldoen aan de voor TETRA relevante standaarden (ETSI TS 100 392). Standaarden kunnen echter ruimte bieden aan **interpretatie en implementatie verschillen**. Hierdoor is het mogelijk dat randapparatuur en netwerken van verschillende leveranciers niet volledig interoperabel zijn.

Om te bepalen of bepaalde functionaliteit ook daadwerkelijk werkt voor een gegeven combinatie van randapparaat en netwerk van verschillende leveranciers heeft The Critical Communications Association (TCCA) een interoperabiliteits certificatie process (IOP) ontwikkeld⁵. Voor elke te certificeren functionaliteit wordt daarbij een TETRA Interoperability Profile (TIP) specificatie en bijbehorend test plan gemaakt⁶. De certificatie en rapporten van de uitgevoerde testen zijn terug te vinden op de ACCT-website⁷. De testen richten zich op de OSI lagen twee en hoger, waardoor de resultaten alleen afhankelijk zijn van de implementatie van de protocol stack. De functionaliteit van **de fysieke laag wordt dus niet geëvalueerd**⁸. Hoewel deze interoperabiliteitstesten meer zekerheid bieden, zijn/worden via deze toetsing niet alle functionaliteiten en combinaties van apparatuur(versies) getest.

Vanwege mogelijke hiaten in de toetsing van de TCCA voert het MDC een **toelatingskeuring** voor randapparatuur uit (CTK), waarbij naast bovenstaande certificaties ook wordt gecontroleerd op de geboden netwerkfunctionaliteit en of het randapparaat geen storingen of verslechtingen van de prestaties veroorzaakt op het netwerk of andere al toegelaten randapparatuur. Bij het voldoen aan alle eisen krijgt het randapparaat een certificaat.

Aangezien het nieuwe netwerk is geleverd door een andere leverancier (Hytera) dan het voorgaande (Motorola) zal randapparatuur, die nog gecertificeerd is op het oude Motorola netwerk, niet zonder meer voldoen aan de eisen voor het nieuwe Hytera netwerk. Zo moet opnieuw worden gecontroleerd of (TCCA) certificaties

⁵ <https://tcca.info/interoperability/tetra-interoperability-certification-home-page/>

⁶ <https://tcca.info/interoperability/tetra-interoperability-certificates/>

⁷ <https://tcca.info/interoperability/interoperability-certificates-and-test-reports/>

⁸ <https://tcca.info/interoperability/tetra-interoperability-certificates/>

aanwezig zijn en het randapparaat geen storingen of verslechtingen van de prestaties veroorzaakt op het nieuwe netwerk. Ook kunnen features die worden toegepast in het nieuwe Hytera netwerk, welke nog niet aanwezig waren in het oude Motorola netwerk, problemen opleveren bij bestaande randapparatuur zoals slot ramping en het gebruik van gefragmenteerde berichten.

De testen die hierboven zijn genoemd gaan verder uit van een goede verbinding (i.e. een goede dekking zonder interferentie). Hiermee blijft het specifieke gedrag in slechte omstandigheden onduidelijk. Het specifieke gedrag, hoewel geen oorzaak van de problemen (dat is de slechte dekking of optredende interferentie), kan wel een duidelijk effect hebben op de gebruikerservaring. Zo kan in een gebied met slechte ontvangst een randapparaat besluiten om een scan uit te voeren, op zoek naar een basisstation dat beter bereikbaar is. Dit kan zowel een volledige scan van alle mogelijke kanalen zijn als ook een korte scan waarbij alleen de kanalen van buurcellen worden gescand. Afhankelijk van welke mogelijkheid de leverancier van de randapparatuur heeft geïmplementeerd, kan dit veel of weinig tijd in beslag nemen wat impact heeft op de gebruikerservaring.

4.3.2 Analyse uitgevoerd onderzoek

De bestaande CTK certificatie van de randapparatuur is meegenomen naar het nieuwe netwerk en niet opnieuw uitgevoerd voor het Hytera netwerk. Het Hytera netwerk maakt gebruik van een aantal features die niet werden gebruikt in het oude Motorola netwerk. Een tweetal features lijkt daarbij te leiden tot incidenten.

De eerste feature is het gebruik van *slot ramping*, waarbij de zender wordt uitgeschakeld gedurende de ongebruikte tijdsloten. Dit is een zelf-interferentie mitigerende maatregel en tegelijk ook een energiebesparende maatregel. De gebruikers van Sepura randapparatuur melden dat het uitzetten van *slot ramping* de audiokwaliteit verbeterd. Tot nu toe is dit nog niet met metingen aangetoond en het is ook niet bekend of het probleem zich voordoet bij andere randapparatuur.

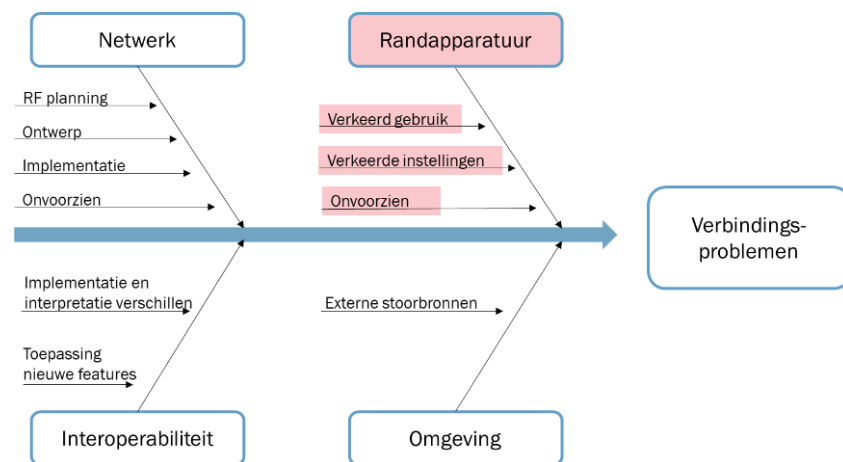
Van een probleem met een lange harde piep in het verkeer tussen de meldkamer en een radio (PM10490) is inmiddels vastgesteld dat deze gerelateerd is aan *slot ramping*. Na het uitzetten van *slot ramping* heeft dit probleem zich namelijk nog niet weer voorgedaan. Omdat nog niet duidelijk is waarom *slot ramping* dit probleem veroorzaakt, is de root cause nog niet bekend. Het uitzetten van *slot ramping* moet dan ook als mitigatiemaatregel worden gezien.

Om toch gebruik te kunnen maken van de energiebesparende en zelf-interferentie mitigerende maatregelen, zij het in mindere mate, wordt binnenkort het gebruik van *carrier ramping* getest. Hierbij wordt de zender aangezet zodra 1 van de tijdsloten wordt gebruikt (i.e. zodra een randapparaat gebruik maakt van het frequentiekanaal) en weer uitgezet zodra de laatste gebruiker zijn gesprek beëindigd. Als de problemen die zich met slot ramping voordoen hierbij niet optreden kan dit een alternatief zijn. Dit vormt het onderwerp van de pilot die wordt behandeld in sectie 6 van dit rapport.

De tweede feature die mogelijk tot incidenten leidt is dat berichten gefragmenteerd kunnen worden verzonden, waarmee een efficiënter gebruik van het controlekanaal mogelijk is. Van Motorola randapparatuur is inmiddels vastgesteld dat deze berichtfragmenten, die via verschillende kanalen worden ontvangen en niet bij

elkaar horen, toch samenvoegt. Hierdoor ontstaan berichten met onjuiste informatie en het gebruik van deze onjuiste informatie door het randapparaat bij allerlei beslissingen (zoals hand-over) leidt tot vreemd gedrag van deze randapparatuur [43]. Dit kan de root cause zijn van het probleem met de foutieve interpretatie van buurcel informatie (PM10441) en is wellicht ook een mogelijke oorzaak van andere problemen. Zowel Motorola als Sepura hebben dit nog in onderzoek. Hoewel de oorzaak van dit probleem in de randapparatuur zit (die fragmenten van verschillende berichten verkeerd samenvoegt), wordt als mitigatiemaatregel het gebruik van fragmentatie in het Hytera netwerk uitgezet in Release 10.01.03 (voorheen hotfix 22).

4.4 Randapparatuur



4.4.1 Mogelijke problemen

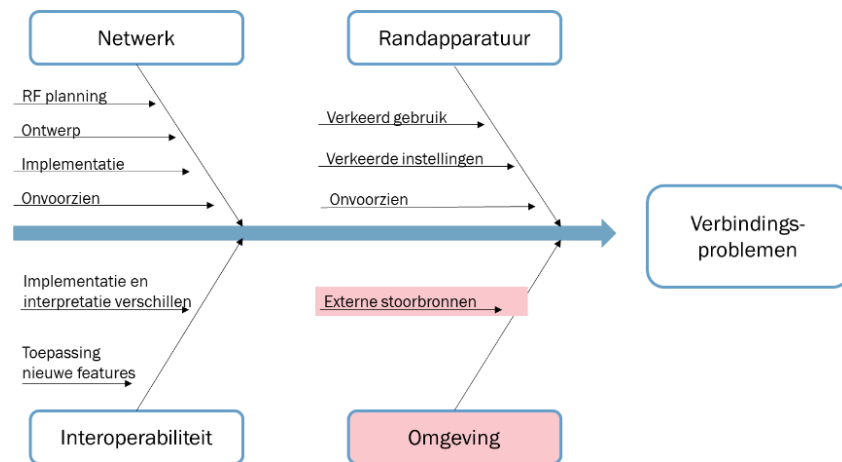
Afgezien van mogelijke interoperabiliteitsproblemen zouden zich bij de randapparatuur nog problemen kunnen voordoen ten gevolge van:

- verkeerde instellingen;
- verkeerd gebruik (bijv. gebruik van portofoon in een auto);
- onvoorziene oorzaken, zoals slechte installatie van mobilifoons in voertuigen en software bugs.

4.4.2 Analyse uitgevoerd onderzoek

Hier is geen specifiek onderzoek naar gedaan. Alleen bij geconstateerde problemen wordt nagegaan hiervan sprake is.

4.5 Omgeving



4.5.1 Mogelijke problemen

De omgeving kan de juiste werking van het systeem beïnvloeden door de aanwezigheid van externe bronnen die interferentie veroorzaken en de ruisvloer verhogen. Over het algemeen is een onderscheid te maken tussen:

- een algemeen te verwachten interferentieniveau t.g.v. zeer veel externe bronnen: man-made noise;
- interferentie van een overheersende stoorbron in de nabijheid van de ontvanger, bijvoorbeeld:
 - zonnecellen (d.i. de power inverters die het DC voltage omzetten naar AC),
 - bij inbouw in voertuigen: andere ingebouwde elektronische apparatuur.

4.5.2 Analyse uitgevoerd onderzoek

Bij ruisvloermetingen die zijn uitgevoerd voor de wijziging van het frequentieplan [20] zijn hogere waarden van de ruisvloer gemeten dan op grond van het linkbudget te verwachten zijn [23]. Met name voor de hogere frequenties bij randapparatuur nabij de Waalhaven toren. Dit leverde hier destijds geen probleem op omdat het gewenste signaal sterk genoeg was. Wel is daarbij vastgesteld dat er hier problemen zijn ten gevolge van zelf-interferentie.

Na de wijziging van het frequentieplan zijn er eveneens ruisvloermetingen uitgevoerd bij basisstations [45], naar aanleiding van de resultaten van de metingen in Limburg [26]. Deze meetresultaten bevatten sterk afwijkende waarden, waarvan de oorzaken nog nader wordt onderzocht door Hytera. Hoewel dit onderzoek nog niet is afgrond, lijkt het erop dat zonnecellen (of beter de power inverters die daarbij gebruikt worden) mogelijke externe bronnen te zijn die veel interferentie kunnen veroorzaken. De aanwijzing hiervoor is dat het niveau van de interferentie varieert met de zonintensiteit. Dit is echter slechts een van de mogelijke oorzaken.

Interferentie veroorzaakt door andere apparatuur die is ingebouwd in een voertuig is te vinden in [40]. Hier is vastgesteld dat de smartswitch in de Mercedes Benz een 20 dB hoger ruis/stoor niveau veroorzaakte dan de uitgangswaarde.

4.6 Mogelijke oorzaken van de geselecteerde problemen

De mogelijke oorzaken van een drietal geselecteerde problemen is het eenvoudigst te schetsen aan de hand van de mogelijke oorzaken van hand-over problemen.

Hand-over problemen kunnen worden veroorzaakt door een slechte verbinding. Informatie over buurcellen wordt via het controlekanaal naar de randapparatuur verzonden door het basisstation waarmee het geaffilieerd is. Als deze informatie (deels) niet goed wordt ontvangen door de randapparatuur en fouten bevat, bestaat de kans dat een hand-over op het moment dat deze plaats zou moeten vinden niet (goed) wordt uitgevoerd door het randapparaat omdat de benodigde informatie hiervoor ontbreekt of foutief is. Hierbij spelen twee aspecten een rol:

- 1 Het optreden van fouten in de downlink, wat kan worden veroorzaakt door een slechte dekking (lage signaalsterkte van gewenst signaal) of een verhoogde ruisvloer door zelf-interferentie of interferentie afkomstig van externe bronnen.
- 2 De wijze waarop de randapparatuur met deze foutieve informatie omgaat en hierop reageert:
 - a) Foutieve informatie kan toch worden gebruikt, in welk geval de hand-over is gedoemd om te mislukken.
 - b) Foutieve informatie kan worden genegeerd.
 - Als het dan geen informatie heeft over andere betere buurcellen (met voldoende signaalsterkte) waarmee het een hand-over kan uitvoeren, kan het besluiten geen hand-over uit te voeren. Het randapparaat blijft dan plakken aan het basisstation waarmee het verbonden is, aangeduid met cel dragging.
 - Als het wel informatie heeft over buurcellen, maar hiermee geen echt betere verbinding mogelijk is dan de huidige cel, kan het randapparaat herhaaldelijk hand-overs gaan uitvoeren (nervus gedrag). Tevens kan in dit geval cel dragging optreden indien het randapparaat bij een mislukte hand-over naar een buurcel deze op een blacklist zet.

In beide gevallen kan dit voortduren totdat nieuwe (goede) informatie over de buurcellen via het controlekanaal wordt ontvangen of bij (langdurig) gebrek aan informatie het randapparaat besluit om een scan uit te voeren, om een basisstation te vinden via welke het contact met het netwerk kan worden hersteld. Welk van deze twee op een bepaald moment geschiedt is is o.a. afhankelijk van de software in de randapparatuur, de tijdsduur tussen de tijdstippen dat de buurcelinformatie wordt verzonden via het controlekanaal en of deze dan wel weer goed of nog steeds met fouten wordt ontvangen door het randapparaat.

Een tweede mogelijke oorzaak van fouten ontstaat bij het gebruik van gefragmenteerde berichten. In dit geval hoeft er geen sprake te zijn van een slechte verbinding, maar ontstaan de fouten doordat het randapparaat de fragmenten van verschillende berichten verkeerd samenvoegt en verkeerd interpreteert. Dit kan leiden tot verkeerde buurcelinformatie, zoals bestaande cellen met een verkeerde (niet gebruikte) frequentie of niet bestaande (ghost) cellen, waarop het randapparaat op dezelfde manier als hierboven geschetst kan reageren.

Bij **PM10430**, waarbij informatie (tijdelijk) *ontbreekt of verdwijnt* uit de lijst met buurcelinformatie, wordt een slechte verbinding (slechte dekking en/of (zelf-) interferentie) als aannemelijke oorzaak gezien. Dit is goed mogelijk als bijv. het

randapparaat alle opgeslagen buurcelinformatie iedere keer geheel ververs/vervangt door de (periodieke) ontvangen buurcelinformatie via het controlekanaal. Met name wanneer hand-overs zouden moeten plaats vinden, aan de rand van het dekkingsgebied waar de signaalsterkte het laagst is, kunnen er bij ontvangst van deze informatie dan fouten optreden op grond waarvan het randapparaat kan besluiten om de foutieve informatie niet op te nemen in de lijst met buurcelinformatie (die dan verdwijnt).

Bij **PM10441** wordt als oorzaak van het voorkomen van *foutieve* informatie in de lijst met buurcelinformatie het verkeerd samenvoegen van berichtfragmenten als aannemelijke oorzaak gezien. Het verkeerd samengevoegde bericht wordt door het randapparaat als correct gezien, waardoor de (foutieve) informatie in de lijst met buurcelinformatie terecht kan komen. Alleen als het randapparaat van elk samengevoegd bericht nog eens extra controleert of de informatie wel juist kan zijn en duidelijk foute informatie negeert zou dit een ook een oorzaak van PM10430 kunnen zijn.

Een beredenering van hoe een oorzaak kan leiden tot een bepaald gevolg (zoals hierboven gemaakt) ontbreekt nog bij de beschrijving van de problemen. De aannames die bij deze beredeneringen zijn gemaakt, scheppen nieuwe mogelijkheden om de redenering te controleren en te bepalen of de oorzaak wel/niet het probleem tot gevolg kan hebben. De leverancier van de randapparatuur zou in staat moeten zijn om dit te bevestigen of te ontkrachten.

Beide oorzaken doen zich verder voor en zijn voor de gebruiker niet te onderscheiden. Het feit dat buurcelinformatie soms ontbreekt of onjuist is, is alleen tijdens testen/onderzoeken aantoonbaar met het gebruik van specifieke tools zoals de Motorola tool Scout en de Sepura tool Sail [43, 35, 33]. Een verschil met het oude Motorola netwerk is dat deze de buurcelinformatie driemaal zo vaak verzond als nu in het nieuwe Hytera netwerk het geval is. Gemelde incidenten door (operationele) gebruikers in het veld zijn dan ook niet direct eenduidig te koppelen aan van beide specifieke problemen en geassocieerde oorzaken. Dit kan pas na aanvullende testen/onderzoeken in de gebieden waar deze incidenten zich voordoen. Verder blijkt de Sepura tool Sail wat minder waar te kunnen nemen dan de Motorola tool Scout, zoals het verdwijnen van buurcelinformatie (PM10430), waardoor een oorzaak soms alleen bij Motorola randapparatuur kan worden vastgesteld.

Dat zelf-interferentie een grote rol heeft gespeeld, lijkt te kunnen worden afgeleid uit de sterke afname van het aantal geregistreerde incidenten gekoppeld aan PM10430 en PM10441 na de wijziging van het frequentieplan in Juli (die eigenlijk wat dit betreft als een test kan worden beschouwd). In welke mate het foutief samenvoegen van berichtfragmenten zal leiden tot een afname van het aantal gemelde incidenten zal pas duidelijk worden na de uitrol van Hotfix 22, waarbij het Hytera netwerk niet langer gebruik zal maken van fragmentatie en zich dit probleem niet meer voor kan doen. De dan nog gemelde incidenten met betrekking tot ontbrekende of foutieve buurcelinformatie zijn dan vrijwel zeker het gevolg van slechte verbindingen (*root cause: slechte dekking en/of (zelf)-interferentie*).

Bij **PM10531**, betreffende de Sepura randapparatuur die regelmatig de verbinding met het netwerk verliest, is een mogelijke oorzaak het grote aantal fouten dat

optreedt bij de ontvangst van het controlekanaal [8, 9]. In principe betreft dit hetzelfde probleem als geschetst bij hand-overs, waarbij fouten in de downlink worden veroorzaakt door een slechte dekking (lage signaalsterkte van gewenst signaal) of een verhoogde ruisvloer door zelf-interferentie of interferentie afkomstig van externe bronnen. De Sepura randapparatuur reageert hierbij door te veronderstellen dat het contact met het basisstation is verloren en besluit vervolgens om een scan uit te voeren, teneinde een basisstation te vinden via welke het contact met het netwerk kan worden hersteld. De Sepura randapparatuur lijkt daarbij terug te vallen op 'general scanning' waarbij alle kanalen worden gescand wat veel tijd in beslag neemt (gemiddeld 2 minuten). De Motorola scant in een dergelijke situatie niet alle kanalen af en is daardoor veel sneller weer bruikbaar. Het verschil is duidelijk merkbaar voor de gebruiker en kan dan ook de oorzaak zijn dat dit probleem specifiek wordt geassocieerd met Sepura randapparatuur.

De root cause blijft een slechte dekking (lage signaalsterkte van gewenst signaal) of een verhoogde ruisvloer, waarbij de reactie van de randapparatuur (scannen van alle kanalen) het probleem voor de gebruiker verergert. Het is verder ook nog mogelijk dat, vergeleken met Motorola randapparatuur, de Sepura randapparatuur een slechtere ontvangstgevoeligheid heeft of gevoeliger is voor bepaalde vormen van interferentie waardoor dit probleem sneller optreedt.

Van **PM10477**, verstuurde statusberichten die soms niet aankomen, bestaan slechts enkele incidenten (10) en deze zijn vanaf Juni niet meer gemeld (zie sectie 3.1).

Aanvullende inzichten in oorzaken van verbindingsproblemen

PM10533, busy toon na indrukken PTT, wordt veroorzaakt door enkele onvoorziene bugs, waaronder race-condities in het Hytera netwerk en het traag reageren van een basisstation tijdens het uitvoeren van een update waardoor verbindingen niet op tijd worden gerealiseerd. Hiervoor bestaan al oplossingen in Hotfix21, die op 17 november is uitgerold.

Van **PM10490**, een harde toon op een bestaand gesprek, is er een relatie vastgesteld met slot ramping maar is het nog onbekend waarom slot ramping dit probleem veroorzaakt. Het probleem is aangepakt door slot ramping uit te zetten en heeft zich sindsdien niet meer voorgedaan (zie sectie 3.1). Dit heeft echter een nadelig effect op de energiebesparing die met slot ramping wordt bereikt. Als alternatief zal het gebruik van *carrier ramping* worden getest (zie hoofdstuk 6).

4.7 Conclusies

De centrale vraag die ten grondslag lag aan voorgaande analyse is wat de oorzaken zijn van de vier geselecteerde problemen. Om deze vraag te beantwoorden is een overzicht gemaakt van alle mogelijk oorzaken en is per mogelijke oorzaak gekeken in hoeverre deze op basis van de beschikbare informatie en het al uitgevoerde onderzoek kan worden uitgesloten als oorzaak van de geselecteerde problemen.

In de meeste gevallen geldt dat op basis van de beschikbare informatie en het tot nu toe uitgevoerde onderzoek geen uitsluitel kan worden gegeven over de

oorzaken (root causes) van de vier geselecteerde problemen. Wel zijn er, soms sterke, aanwijzingen voor mogelijke oorzaken en gericht nader onderzoek. Hieronder volgen eerst enkele algemene conclusies, gevolgd door specifieke conclusies voor de geselecteerde problemen.

4.7.1 *Algemene conclusies*

Hoewel nog in onderzoek, bestaat de indruk dat bij de RF-planning onvoldoende rekening is gehouden met het optreden van zelf-interferentie⁹. Aangezien de RF-planning voorafgaand aan het operationeel in werking stellen van het netwerk gebeurt, hadden met een goede RF-planning naar verwachting veel problemen kunnen worden voorkomen.

Voor wat betreft het ontwerp en de implementatie van de grondstations lijkt er voorafgaand aan de migratie geen systematische verificatie te hebben plaats gevonden (bijv. in de vorm van een afnametest) voor het operationeel in werking stellen van het netwerk. Ook geldt dat de CTK voor randapparatuur niet is aangepast voor het Hytera netwerk, noch is de bestaande randapparatuur opnieuw gecertificeerd voor het Hytera netwerk.

Een deel van de onderzoeken/testen heeft plaats gevonden voor de wijziging van het frequentieplan op 15 juli, maar de uitkomsten zijn grotendeels nog steeds relevant. Hoewel hierbij een aantal locaties specifiek zijn onderzocht en voor deze locaties is vastgesteld wat de meest waarschijnlijke oorzaak is van de geconstateerde problemen, is het aantal onderzochte locaties niet voldoende om op grond hiervan andere mogelijke oorzaken uit te sluiten.

Voor het analyseren van problemen en het bijhouden van de activiteiten om problemen te onderzoeken en te verhelpen maakt het MDC, samen met de andere betrokken partijen, gebruik van Ratio sessies en Event Maps. Hoewel deze aanpak helpt om een gezamenlijk beeld van de stand van zaken te onderhouden, bevatten de Event Maps geen specifieke informatie over welke op probleemonderzoek gerichte activiteiten door wie, middels welk tijdsplan en met welke beoogde uitkomst worden uitgevoerd. Mede daarom is door IVC een separaat overzicht van onderzoekslijnen en uitstaande acties opgezet.

In het geval er een oplossing voor een probleem beschikbaar is, zal deze landelijk (in het operationele netwerk) moeten worden doorgevoerd om het effect hiervan te kunnen bepalen aan de hand van het aantal gemelde incidenten. Voordat een oplossing wordt doorgevoerd wordt daarbij eerst zeker gesteld dat dit geen andere (nieuwe) problemen gaat veroorzaken. Hiertoe wordt de oplossing eerst uitgevoerd in een testomgeving en wordt er een risicoanalyse gemaakt. Met de gehele procedure van oplossing tot de evaluatie is dan ook enige tijd gemoeid.

Na het doorvoeren van wijzigingen in het C2000 netwerk wachten de betrokken partijen doorgaans op eventuele meldingen van gebruikers om te constateren of het probleem zich nog steeds voordoet. Bij het uitblijven van meldingen wordt ervan uitgegaan dat het probleem is verholpen. TNO beveelt aan om niet af te wachten maar waar mogelijk proactief te toetsen of problemen zich na een wijziging nog voordoen.

⁹ Hytera noemt dit als oorzaak van veel problemen en ook dat ze deze mate van zelf-interferentie niet eerder zijn tegengekomen.

4.7.2 *Conclusies voor geselecteerde problemen*

De meest waarschijnlijke oorzaken van de geselecteerde problemen zijn onderkend, waarvan een aantal al in een zeer vroeg stadium (PM10430, PM10441 en PM10477 al begin februari),

Een tweetal problemen (PM10441 en PM10490) zijn ontstaan door het gebruik van nieuwe features in het Hytera netwerk, die niet aanwezig waren in het oude Motorola netwerk, waar de randapparatuur niet goed mee overweg blijkt te kunnen. Als oplossing voor deze problemen worden deze features uitgezet en niet langer gebruikt. Dit is in principe een mitigatiemaatregel en neemt niet de onderliggende oorzaken van deze problemen weg. Als voor de toekomst deze efficiënte verhogende features van belang worden geacht zullen alsnog de onderliggende problemen bij de randapparatuur moeten worden opgelost.

Voor PM10531, betreffende de randapparatuur die regelmatig de verbinding met het netwerk verliest, is een waarschijnlijk oorzaak een slechte ontvangst van het controlekanaal [8, 9]. Hiervoor zou nog onderzocht kunnen worden waarom dit probleem specifiek bij Sepura randapparatuur optreedt. Vergeleken met Motorola randapparatuur, zou de Sepura randapparatuur een slechtere ontvangstgevoeligheid kunnen hebben, gevoeliger kunnen zijn voor bepaalde vormen van interferentie of een slechtere selectiviteit kunnen hebben waardoor dit probleem sneller optreedt.

Release 10.01.03 omvat een mogelijke oplossing voor de geselecteerde problemen [31] en de uitrol hiervan is in december 2020 gebeurd. Hierna kan pas worden vastgesteld in welke mate hiermee de problemen zijn afgenomen aan de hand van het aantal daarna gemelde incidenten.

Problemen ten gevolge van een slechte dekking (lage signaalsterkte van gewenst signaal) of een verhoogde ruisvloer door zelf-interferentie of interferentie afkomstig van externe bronnen, zullen zich ook na de uitrol van release 10.01.03 blijven voordoen. Een analyse van de ruisvloermeting, genoemd in sectie 4.5.2, is daarbij van belang om de oorzaken te kunnen duiden.

De Sepura tool Sail blijkt wat minder waar te kunnen nemen dan de Motorola tool Scout, zoals het verdwijnen van buurcelinformatie (PM10430), waardoor een oorzaak soms alleen bij Motorola randapparatuur kan worden vastgesteld.

5 Uitkomsten evaluatie testomgeving

Het zou wenselijk zijn dat de testomgeving de mogelijkheid biedt om (bestaande) randapparatuur ook specifiek te kunnen testen op de nieuwe features waarvan het Hytera netwerk gebruik kan maken (fragmentatie en slot/carrier bursting) zodat dit als onderdeel van de CTK-procedure voor randapparatuur kan worden opgenomen.

Slot/carrier ramping aan- en uitzetten is al mogelijk, zodat hiermee in principe al kan worden getest. Fragmentatie zal in een operationeel netwerk waarschijnlijk alleen plaatsvinden als dit niet anders kan, maar zou in het testnetwerk kunnen worden geforceerd (alle berichten fragmenteren tenzij dit niet mogelijk is) zodat eventuele problemen sneller optreden dan in het operationeel netwerk het geval is.

6 Uitkomsten review pilot carrier ramping

De pilot met betrekking tot het inschakelen van *carrier ramping* staat gepland in januari 2021 en is daarom nog geen onderdeel van dit onderzoek. Met betrekking tot de pilot en de analyse van mogelijke oorzaken van de verbindingsproblemen in dit onderzoek kan wel alvast het volgende worden opgemerkt:

De gebruikers van Sepura randapparatuur hebben aangegeven dat het uitzetten van *slot ramping* de audiokwaliteit verbeterd. Tot nu toe is dit niet met metingen aangetoond en het is ook niet bekend of het probleem zich voordoet bij andere randapparatuur. Wel is *slot ramping* uitgeschakeld als onderdeel van de wijzigingen die halverwege juli zijn doorgevoerd in het netwerk. Als mogelijk alternatief voor *slot ramping* wordt binnenkort *carrier ramping* getest. Hierbij wordt een zender aangezet zodra één van de tijdsloten wordt gebruikt (i.e. zodra een randapparaat gebruik maakt van het frequentiekanaal) en weer uitgezet zodra de laatste gebruiker zijn gesprek beëindigd. Dit is een mitigatiemaatregel waarmee de ervaren problemen mogelijk worden opgelost. De oorzaak (root cause) van het onderliggende probleem waardoor de audiokwaliteit van de gesprekken met Sepura randapparatuur verslechtert is niet bekend.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Het doel van dit onderzoek is het achterhalen van de oorzaken van vier geselecteerde verbindingsproblemen in C2000, de testomgeving en twee pilots te reviewen en aanbevelingen te doen voor verbeteringen en eventueel verder onderzoek.

Om een beeld van de omvang van de verbindingsproblemen in C2000 en de vier geselecteerde problemen te schetsen zijn de geregistreerde incidenten van storingen en problemen in C2000 geanalyseerd. Deze analyse laat zien dat de incident registratie een aantal beperkingen kent waardoor de verhouding met het totaal aantal door de gebruikers ervaren problemen onzeker is. Ondanks dat het aantal klachten naar verwachting hoger ligt dan het aantal geregistreerde incidenten (en wellicht in toenemende mate door meldmoeheid), lijkt het aantal klachten te dalen, onder andere als gevolg van de wijzigingen die in juli zijn doorgevoerd. Daarnaast laat de analyse zien dat de koppeling tussen geregistreerde incidenten en bekende problemen onzeker is. Dit maakt het effect van het oplossen van de vier (voor dit onderzoek) geselecteerde verbindingsproblemen op de ervaring van gebruikers met C2000 onzeker.

Naar aanleiding van het onderzoek naar de mogelijke oorzaken van de vier geselecteerde problemen zijn enkele algemene en een aantal specifieke conclusies opgesteld. In het algemeen geldt dat:

- De beschikbare informatie aanwijzingen bevat dat bij de oorspronkelijke RF-planning onvoldoende rekening is gehouden met het optreden van zelf-interferentie¹⁰. Deze tekortkoming in de RF-planning kan een verklaring vormen van mogelijk een groot deel van de incidenten die zijn geregistreerd voor de wijziging van het RF-plan in juli.
- Voor wat betreft het ontwerp en de implementatie van de grondstations is voorafgaand aan het operationeel in werking stellen van het netwerk geen systematische verificatie uitgevoerd (bijv. in de vorm van een afnametest). Ook geldt dat de CTK voor randapparatuur niet is aangepast voor het Hytera netwerk, noch is de bestaande randapparatuur opnieuw gecertificeerd voor het Hytera netwerk. Bij afwezigheid van deze keuringen kunnen eigenschappen van deze componenten en eventuele interoperabiliteitsproblemen niet als mogelijke oorzaak worden uitgesloten van de problemen die zich voordoen.
- Problemen ten gevolge van een slechte dekking (lage signaalsterkte van gewenst signaal) of een verhoogde ruisvloer door zelf-interferentie of interferentie afkomstig van externe bronnen, zullen zich (ook na invoering van release 10.01.03)) blijven voordoen. Een analyse van de ruisvloer is van groot belang om de oorzaken te kunnen duiden en weg te nemen.
- Voor het analyseren van problemen en het bijhouden van de activiteiten om problemen te onderzoeken en te verhelpen maakt het MDC, samen met de andere betrokken partijen, gebruik van Ratio sessies en Event Maps. Hoewel deze aanpak geschikt is om een gezamenlijk beeld van de stand van zaken te

¹⁰ Hytera noemt dit als oorzaak van veel problemen en ook dat ze deze mate van zelf-interferentie niet eerder zijn tegengekomen.

- onderhouden, bevatten de Event Maps geen specifieke informatie over welke op probleemonderzoek gerichte activiteiten door wie, middels welk tijdspad en met welke beoogde uitkomst worden uitgevoerd. Dit belemmert het inzicht in de stand van zaken van de probleemanalyse.
- Indien er een oplossing voor een probleem beschikbaar is, zal deze landelijk (in het operationele netwerk) moeten worden doorgevoerd om het effect hiervan te kunnen bepalen aan de hand van gemelde incidenten. Voordat een oplossing wordt doorgevoerd wordt daarbij eerst zeker gesteld dat dit geen andere (nieuwe) problemen zal veroorzaken. Hiertoe wordt de oplossing eerst uitgevoerd in een testomgeving en wordt er een risicoanalyse gemaakt. Met de gehele procedure van oplossing tot de evaluatie is dan ook enige tijd gemoeid.
 - Na het doorvoeren van wijzingen in het C2000 netwerk wachten de betrokken partijen doorgaans op eventuele meldingen van gebruikers om te constateren of het probleem zich nog steeds voordoet. Bij het uitblijven van meldingen wordt ervan uitgegaan dat het probleem is verholpen.

Specifiek voor de vier geselecteerde problemen geldt dat in de meeste gevallen op basis van de beschikbare informatie en het tot nu toe uitgevoerde onderzoek geen uitsluitel kan worden gegeven over oorzaken (root causes). Wel zijn er, soms sterke, aanwijzingen voor mogelijke oorzaken en gericht nader onderzoek:

- Het probleem met de foutieve interpretatie van buurcelinformatie (PM10441) is waarschijnlijk ontstaan door het gebruik van features in het Hytera netwerk, die niet aanwezig waren in het Motorola netwerk, waar randapparatuur niet goed mee overweg blijkt te kunnen. Als oplossing voor deze problemen worden deze features uitgezet en niet langer gebruikt. Dit is een mitigatiemaatregel en neemt niet de onderliggende oorzaken van deze problemen weg. Als voor de toekomst deze efficiëntie verhogende features van belang worden geacht, zullen alsnog de onderliggende problemen bij de randapparatuur moeten worden opgelost.
- De oorzaak van het probleem met het rode kruis op Sepura radio's (PM10531) is waarschijnlijk de slechte ontvangst van het controlekanaal. Onderzocht zou moeten worden waarom dit probleem specifiek bij Sepura randapparatuur optreedt. Mogelijk heeft Sepura randapparatuur een slechtere ontvangstgevoeligheid of hogere gevoeligheid voor bepaalde vormen van interferentie waardoor dit probleem sneller optreedt.
- Release 10.01.03 bevat een mogelijke oplossing voor de meeste van de geselecteerde problemen [31], maar deze is pas in december 2020 uitgevoerd. Hierna kan pas worden vastgesteld in welke mate hiermee de problemen zijn afgenomen.
- De Sepura tool Sail blijkt minder waar te kunnen nemen dan de Motorola tool Scout, zoals het verdwijnen van buurcelinformatie (PM10430), waardoor een oorzaak soms alleen bij Motorola randapparatuur kan worden vastgesteld met de tool Scout en niet voor Sepura randapparatuur.

7.2 Aanbevelingen

Op basis van het onderzoek en de conclusies doet TNO aanbevelingen voor de registratie van incidenten, aanbevelingen voor het uitgevoerde en uit te voeren onderzoek om de oorzaken van verbindingsproblemen te achterhalen en weg te nemen, en aanbevelingen voor de wijze waarop verbindingsproblemen worden geanalyseerd.

Aanbevelingen voor de registratie van incidenten:

- Stimuleer de meldbereidheid en registreer elke individuele melding zodat het beeld van de omvang van problemen betrouwbaarder wordt.
- Vul de incidentregistratie aan met metingen ten aanzien van de operationele performance van het netwerk zodat een beter beeld ontstaat van de omvang van verbindingsproblemen (zie TNO-rapport [referentie invoegen zodra het rapport beschikbaar is]).

Aanbevelingen voor het uit te voeren onderzoek:

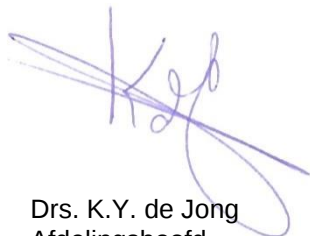
- Voer onderzoek uit naar Sepura randapparatuur in vergelijking met Motorola randapparatuur en ga na of de Sepura apparatuur een slechtere ontvangstgevoeligheid heeft of gevoeliger is voor bepaalde vormen van interferentie.
- Ga met Sepura na of het mogelijk is het gedrag van de randapparatuur aan te passen ten aanzien van het volledige versus gedeeltelijk scannen van kanalen.
- Als het van belang is om in de toekomst wel gebruik te kunnen maken van de efficiëntie verhogende features die het Hytera netwerk biedt (fragmentatie berichten en slot/carrier ramping), verdient het aanbeveling om hiervoor een testprocedure te (laten) ontwikkelen, hetzij via TCCA of door Hytera, en vervolgens onderdeel te maken van de CTK-procedure voor randapparatuur.
- Pas de CTK-procedure aan voor het nieuwe Hytera netwerk en certificeer de bestaande randapparatuur opnieuw.
- De Sepura tool Sail kan, vergeleken met de Motorola tool Scout, bepaalde zaken niet waarnemen zoals het verdwijnen/ontbreken van buurcel informatie. Omdat dit probleem zich kan blijven voordoen bij slechte verbindingen bestaat er geen mogelijkheid om dit bij probleem bij Sepura randapparatuur vast te stellen of uit te sluiten. Gezien het belang van deze tools (ook in de toekomst) die veel informatie kunnen bieden over wat zich in de randapparatuur afspeelt, verdient het aanbeveling de Sepura tool op een hoger niveau te brengen.
- Ga na of de testomgeving de mogelijkheid kan bieden om (bestaande) randapparatuur ook specifiek te testen op de nieuwe features waarvan het Hytera netwerk gebruik kan maken (fragmentatie en slot/carrier bursting) zodat dit als onderdeel van de CTK-procedure voor randapparatuur kan worden opgenomen.
- Zet het onderzoek naar oorzaken van slechte verbindingen voort:
 - Ga na waar gebieden zijn met slechte dekking en/of een verhoogde ruisvloer;
 - Ga na wat de mogelijke oorzaken zijn van de verhoogde ruisvloer;
 - Ontwikkel op grond van mogelijk te onderscheiden bronnen die interferentie veroorzaken en hun karakteristieken een meetprocedure waarmee de oorzaak van interferentie (of een slechte dekking) kan worden vastgesteld in een gebied waar zich veel problemen voordoen.
- Zorg dat bij toekomstige wijzigingen van het frequentieplan een onafhankelijke review wordt uitgevoerd.

Aanbevelingen voor het proces van probleemanalyse:

- Neem als onderdeel van de Event Maps een overzicht op van alle uitstaande activiteiten inclusief actiehouders, status, tijdlijnen en (beoogde) uitkomsten.
- Wacht na wijzigingen aan het netwerk niet af of klachten zich opnieuw voordoen maar onderzoek waar mogelijk proactief of problemen zich na een wijziging nog voordoen.

8 Ondertekening

Den Haag, januari 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'K.Y. de Jong', with a long horizontal stroke extending to the left.

Drs. K.Y. de Jong
Afdelingshoofd

TNO
Networked Organisations

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'H.J. Dekker', with a long horizontal stroke extending to the left.

Ir. H.J. Dekker
Auteurs

A Beschikbaar gestelde documenten en referenties

- [1] 000c. 20200313 Lijst van afkortingen voor TNO v1.0.docx
- [2] 001. 20200715 Expertmeeting C2000 minjenv v1.0.pptx
- [3] 002a. IVC Incidenten20200622.xls.xls
- [4] 002b. Mail aangaande heraffiliaties Kees Taverne - Lijstje tot 10procent succesvol.msg
- [5] 002c. Problem registratie HP Service Manager.docx
- [6] 002d. Problem 10490 JIRA nummer Kort Piep MK Radio.pdf
- [7] 002e. Problem 10490 JIRA nummer Lang Piep MK Radio.pdf
- [8] 002f. Problem 10531 Jira nummer NAZO-288 High MER.pdf
- [9] 002g. Problem 10531 JIRA nummer NAZO-289 Red Cross.pdf
- [10] 002h. Problem 10533 JIRA nummer NAZO-305 Busy.pdf
- [11] 002i. Problem 10430 JIRA Handover 2.pdf
- [12] 002j. Problem 10430 JIRA Handover.pdf
- [13] 002k. Problem 10441 JIRA neighbour cell.pdf
- [14] 003a. Politie-rapport-Didam-Doetinchem 0.1.pdf
- [15] 003b. Berg en Dal before and after Change.docx
- [16] 003b. Berg en Dal before and after Change.pdf
- [17] 004a. 20200524 RF interference (1).ppt
- [18] 004b. Graphs HO gedrag radios Didam en Doetinchem.xlsx
- [19] 004c. Report analyses handover measurments Didam V1.0.pdf
- [20] 004d. Verification Report Rhoon V20200529 V1.0.pdf
- [21] 004e. VerificationReport LLC-counter 03.pdf
- [22] 005. 20200706 Open problems IVC v13.xlsx
- [23] 2019-02-18_Link_Budget_Final_1.2.xlsx
- [24] 20200313 Chronologisch overzicht changes met grafiek.xlsx
- [25] 20200414 MDC_HPSM_Incidents_0012M_Alle_T2000_Incidenten_20190401_tot_20190701.xlsx
- [26] 2020-09-21-BS_TxOut_Power_Investigation_at_Limburg V0.3.pdf
- [27] 20201007 C2000 connectivity v1.1.xlsm
- [28] 20201007 MDC_HPSM_Incidents_0012C_Alle_IVC_Incidenten_tot_vandaag_20201007_V06.xlsx
- [29] 20201026 Scout Limburg2_Table_Export.xlsx
- [30] 20201102 Concept Onderzoekslijnen IVC.xlsx
- [31] 20201123 beschrijving HF22.pdf
- [32] 20201202 Mail Walter Kraan aan Henk Dekker RE_ Vraag met betrekking tot CTK.pdf
- [33] 20201202 Mail Walter Kraan RE_ Vragen van TNO.pdf
- [34] 20201202 SAIL broadcast Tilburg Brucknerlaan.xls

- [35] 20201202 Scout Tilburg.JPG
- [36] 20201208 Antwoord op aanvullende vragen.docx
- [37] 20201208 Antwoord op aanvullende vragen.pdf
- [38] Agutter, C. (2015). *ITIL foundation handbook*. TSO (The Stationery Office).
- [39] Bevindingen onderzoek verbindingsklachten Oost Brabant_DeKempen_V1.0.pdf
- [40] Bevindingen onderzoek verbindingsklachten Oost Brabant_V1.02.pdf
- [41] C115183 - SD HD-ACCESSNET-T IP PV10.00.00 HF21 v01.00.pdf
- [42] C2000 Connectivity V1.6.2.xlsm
- [43] fragmentation.msg
- [44] Interpretatie HPSM registratie_v2.docx
- [45] NoiseFloor_macdiag_20200928.xlsx
- [46] Onderzoek Gebruikersproblemen en Prestatie- indicatoren C2000. 18 september 2020. Resultaten Fase 1. Den Haag: TNO.
- [47] Overview_TRS2_1.8.pdf
- [48] Report_HF21_Pilot_evaluation_V1.1.pdf
- [49] RUISVLOER-1.docx
- [50] SAILUserGuide.pdf
- [51] SUT Overview Testing C2K-PL1 - v3 - application level.pdf
- [52] Tabel verklaringen geselecteerde problemen.xlsx
- [53] TRS Network desing V2.2.pdf
- [54] VragenDocumentatie-1 - BRA.docx