

Onderzoek naar de inslagschade op de wrakstukken van vlucht MH17

Opdrachtgever

Onderzoeksraad voor Veiligheid

NLR-CR-2015-155-PT-2 - September 2015



Bron afbeelding omslag: ANP

Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium NLR

Anthony Fokkerweg 2

1059 CM Amsterdam

Nederland

Tel 088 511 3113

www.nlr.nl

MANAGEMENTSAMENVATTING

Onderzoek naar de inslagschade op de wrakstukken van vlucht MH17

Probleemstelling

Het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) is door de Onderzoeksraad voor Veiligheid (OVV) gevraagd om deel te nemen aan het onderzoek naar de inslagschade door hoogenergetische objecten op de wrakstukken van vlucht MH17. Dit onderzoek is uitgevoerd door de afdeling Defensiesystemen van het NLR.

Beschrijving van het uitgevoerde onderzoek

De inslagschade door hoogenergetische objecten op de wrakstukken van vlucht MH17 is onderzocht. Om de mogelijke oorzaak van deze schade te onderzoeken zijn drie scenario's geanalyseerd, elk met een verschillende klasse van wapensystemen die in de regio in gebruik zijn.

Resultaten en conclusies

Schadeonderzoek

Op basis van het schadeonderzoek kan worden geconcludeerd dat de inslagschade op de wrakstukken van vlucht MH17 is veroorzaakt door een springkop met diverse typen voorgevormde fragmenten in de orde grootte van 6 tot 14 mm, waarbij ten minste één type een vliedervorm had, en waarbij de springkop linksboven de cockpit tot ontploffing is gekomen.

Scenario 1: boordkanon

De schade die is waargenomen aan de wrakstukken komt niet overeen met de schade die wordt veroorzaakt door een boordkanon van een gevechtsvliegtuig wat betreft het aantal treffers, de dichtheid van de treffers, de richting van de

Rapportnummer

NLR-CR-2015-155-PT-2

Auteur(s)

J. Markerink

Rubricering rapport

ONGERUBRICEERD

Datum

September 2015

Kennisgebied(en)Vliegveiligheid
Wapensystemen**Trefwoord(en)**MH17
ongeval
onderzoek
Malaysia Airlines
Boeing 777

kogelbanen en het type schade. De inslagschade op de wrakstukken van vlucht MH17 is daarom niet veroorzaakt door een boordkanon.

Scenario 2: lucht-lucht raket

De schade die is waargenomen aan de wrakstukken komt niet overeen met de schade die wordt veroorzaakt door de springkop van een lucht-lucht raket in gebruik in de regio, wat betreft hoeveelheid schade, type schade en soort fragmenten. De inslagschade op de wrakstukken van vlucht MH17 is daarom niet veroorzaakt door een lucht-lucht raket.

Scenario 3: grond-lucht raket

Van de onderzochte springkoppen bevat alleen de 9N314M de unieke vlindervormige fragmenten die in de wrakstukken zijn gevonden. De waargenomen schade aan de wrakstukken komt wat betreft hoeveelheid schade, type schade, grenzen en richting van de inslagschade, aantal en dichtheid van de treffers, grootte van de doorboringsschade en de gevonden vlindervormige fragmenten overeen met de schade veroorzaakt door de 9N314M springkop gebruikt in de 9M38 en 9M38M1 BUK grond-lucht geleide raket.

Conclusie

Op basis van de resultaten van het onderzoek kan worden geconcludeerd dat de inslagschade van de hoogenergetische objecten die is waargenomen op de wrakstukken van vlucht MH17 is veroorzaakt door de 9N314M springkop die gebruikt wordt in de 9M38 en 9M38M1 BUK grond-lucht raket.

Onderzoek naar de inslagschade op de wrakstukken van vlucht MH17

J. Markerink

Opdrachtgever
Onderzoeksraad voor Veiligheid

September 2015

Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de eigenaar.

Opdrachtgever	Onderzoeksraad voor Veiligheid
Eigenaar	Onderzoeksraad voor Veiligheid
NLR Divisie	Luchtverkeer
Verspreiding	Onbeperkt
Rubricering titel	Ongerubriceerd
Datum	September 2015

Inhoud

Afkortingen	5
1 Inleiding	7
2 Schadeonderzoek	8
2.1 Soorten waargenomen inslagschade	9
2.2 Pitting (putvorming)	11
2.3 Oorsprong	12
2.4 Uitschotschade	13
2.5 Aantal treffers en dichtheid	14
2.6 Grootte van de doorboringsschade	14
2.7 Regelmaat van de treffers	16
2.8 Locatie van de schade	17
2.9 Grens van de inslagschade	18
2.10 Richting van de inslag	22
2.11 Overige inslagschade	25
2.12 Gevonden fragmenten	28
2.13 Conclusie schadeonderzoek	29
3 Onderzochte scenario's	30
3.1 Focus van het onderzoek	30
3.2 Proliferatie	30
3.3 Specifieke scenario's	31
4 Scenario 1: boordkanon	32
4.1 Su-25 (Frogfoot)	32
4.2 Prestaties van de Su-25	32
4.3 Overzicht van boordkanonnen in vliegtuigen	33
4.4 Gsh-30	34
4.5 Gsh-301	35
4.6 Gsh-6-23	35
4.7 Aanvalsgeometrie	35
4.8 Visuele identificatie	36
4.9 Aantal patronen	36
4.10 Dichtheid	36
4.11 Richting	36
4.12 Type schade	36

4.13	Conclusie boordkanon scenario	38
5	Scenario 2: lucht-lucht raket	39
5.1	R-60	39
5.2	Aanvalsgeometrie	39
5.3	Visuele identificatie	39
5.4	Hoeveelheid schade	40
5.5	Type schade	40
5.6	Gebruikte materialen	42
5.7	Conclusie scenario lucht-lucht raket R-60	43
5.8	Overzicht lucht-lucht raketten	43
5.9	Conclusie lucht-lucht raket scenario	44
6	Scenario 3: grond-lucht raket	45
6.1	Overzicht grond-lucht raketten	45
6.2	BUK-grond-lucht raketsysteem	45
6.3	BUK TELAR	45
6.4	Normale inzet	46
6.5	Autonome inzet	47
6.6	BUK raket	47
6.7	Hoogtebereik	48
6.8	Nabijheidsontsteker	48
6.9	Hoeveelheid schade	48
6.10	Type schade	49
6.11	Vlindervormige fragmenten	49
6.12	Aantal treffers en dichtheid	51
6.13	Fragment afmetingen	53
6.14	Statische springkop model	53
6.15	Dynamisch fragmentatiepatroon	55
6.16	Primaire en secundaire en fragmentatiepatroon	56
6.17	Matchen van gemodelleerde en waargenomen fragmentatieschade	56
6.18	Kinematische Fragment Verspreidingspatroon Simulatie	59
6.19	Raketbaan simulatie	61
6.20	Lanceergebied van de raket	61
6.21	Conclusie grond-lucht raket scenario	63
7	Samenvatting van de bevindingen	64
8	Referenties	67

Afkortingen

Acroniem	Omschrijving
CP	Command Post, commandopost
FDR	Flight Data Recorder, zwarte doos
NAVO	Noord-Atlantische Verdrags Organisatie
NLR	Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium
OVV	Onderzoeksraad voor Veiligheid
SAM	Surface-to-Air Missile, grond-lucht geleide raket
TAR	Target Acquisition Radar, doelbepalingsradar
TAS	True Airspeed, werkelijke luchtsnelheid
TELAR	Transporter Erector Launcher and Radar, mobiele raketlanceerinrichting met radar
TELL	Transporter Erector Launcher and Loader, mobiele raketlanceerinrichting
WEST	Weapon Engagement Simulation Tool, software voor het simuleren van vliegende wapensystemen
WVR	Within Visual Range, binnen zichtbereik

Deze pagina is opzettelijk blanco.

1 Inleiding

De Onderzoeksraad voor Veiligheid (OVV) onderzoekt het neerstorten van de Boeing 777-200, Malaysia Airlines vlucht MH17, op 17 juli 2014 in het oosten van Oekraïne. Het doel van dit onderzoek is om de oorzaken van dit ongeval vast te stellen en in het bijzonder om te onderzoeken wat de inslagschade aan de voorkant van de romp van het vliegtuig heeft veroorzaakt. In het *Rapport van eerste bevindingen* stelt de Onderzoeksraad voor Veiligheid dat de schade aan de voorste rompsectie en het cockpitgedeelte van het vliegtuig erop lijkt te wijzen dat het vliegtuig van buitenaf is getroffen door een groot aantal voorwerpen met hoge energie [2].

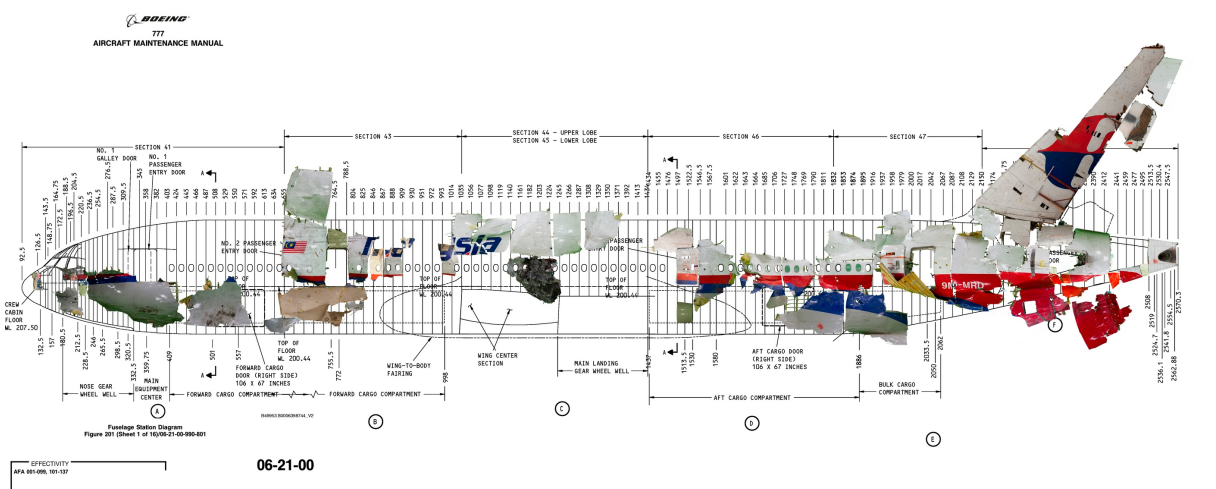
Het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) is door de Onderzoeksraad voor Veiligheid gevraagd om deel te nemen aan het onderzoek naar de inslagschade als gevolg van hoogenergetische objecten op de wrakstukken van vlucht MH17. Dit onderzoek is uitgevoerd door de afdeling Defensiesystemen van het NLR. Deze afdeling levert operationele, technische en wetenschappelijke ondersteuning aan het Ministerie van Defensie in het algemeen, en aan de Koninklijke Luchtmacht in het bijzonder. Het belangrijkste onderzoeksgebied is de zelfbescherming van luchtvaartuigen, waarvoor een diepgaande kennis van de prestaties van grond-lucht en lucht-lucht wapensystemen is vereist. Om dit onderzoek uit te voeren heeft de afdeling een aantal tools tot haar beschikking. Eén hiervan is WEST (Weapon Engagement Simulation Tool). Dit is een intern ontwikkeld softwarepakket dat de vluchtbaan en prestaties van dreigingssystemen simuleert. Een aantal WEST-modellen zijn voor dit onderzoek gebruikt.

Het werk is als volgt uitgevoerd: Allereerst is de schade aan de wrakstukken uitgebreid geïnspecteerd en vastgelegd. Nadat het fysieke bewijs was onderzocht zijn de bij de afdeling bekende eigenschappen van alle relevante boordkanonnen, lucht-lucht geleide raketten en grond-lucht geleide raketten systematisch onderzocht op een mogelijke overeenkomst met de waargenomen schade aan de wrakstukken. Van de onderzochte wapensystemen was er slechts één die de waargenomen schade zou hebben kunnen veroorzaken. Van dit wapensysteem zijn het detonatiepunt, de oriëntatie en de vluchtbaan in meer detail onderzocht.

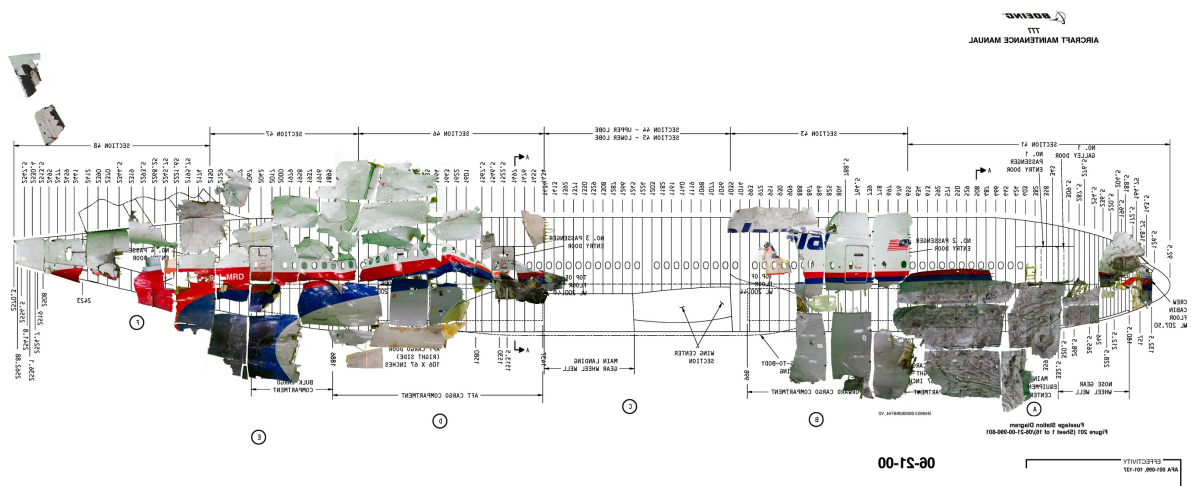
Dit rapport is als volgt opgebouwd: In hoofdstuk 2 worden de details van het onderzoek aan de schade besproken. De drie scenario's, met elk een verschillende klasse van wapensystemen die in de regio in gebruik zijn, worden in hoofdstuk 3 gedefinieerd. In hoofdstuk 4 tot en met 6 worden de analyses van de verschillende scenario's verder uitgewerkt, waarbij met name de overeenkomsten met de waargenomen schade wordt besproken. Hoofdstuk 7 geeft een samenvatting van de bevindingen en conclusies.

2 Schadeonderzoek

Aan het begin van het onderzoek was ongeveer 25% van de wrakstukken beschikbaar voor de Onderzoeksraad voor Veiligheid op de luchtmachtbasis Gilze-Rijen in Nederland (Figuur 1 en Figuur 2). De wrakstukken van belang voor het onderzoek waren in één hangaar geplaatst. De overige onderdelen waren in twee aparte vliegtuigshelters opgeslagen. Van elk wrakstuk zijn diverse foto's gemaakt en beschikbaar gesteld voor het onderzoek. Ook zijn er van een aantal onderdelen 3D-laserscans gemaakt die voor dit onderzoek zijn gebruikt.



Figuur 1: Geborgen wrakstukken van de linkerkant van het vliegtuig (Bron: OVV)



Figuur 2: Geborgen wrakstukken van de rechterkant van het vliegtuig (Bron: OVV)

2.1 Soorten waargenomen inslagschade

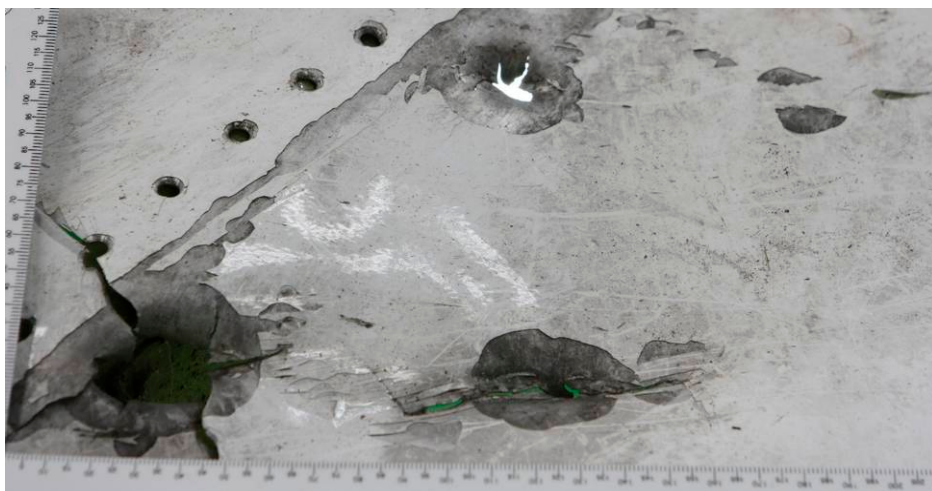
De inslagschade als gevolg van hoogenergetische objecten aan de wrakstukken van de cockpit is onderzocht.

Er zijn vier soorten inslagschade geïdentificeerd [1]:

1. Doordringende schade (*piercing*). Bij doordringende schade penetreert het hoogenergetische object de beplating door het plaatmateriaal opzij te duwen. Het hoogenergetische object scheurt tijdens de perforatie door de plaat heen en vormt een kroonvormig uitsteeksel omringd door radiale scheuren aan de uitgangszijde van het plaatmateriaal.
2. Ponsschade (*plugging*). Bij ponsschade produceert het hoogenergetische object dat in de plaat inslaat een relatief zuivere opening door een deel van de plaat, oftewel een plug, eruit te drukken.
3. Niet-doorborende schade (*non-penetrating damage*). Daar waar de vliegtuigconstructie uit relatief sterke, dikke en verstevigde delen bestond, had een aantal hoogenergetische objecten onvoldoende energie om de constructie volledig te doorboren en veroorzaakte niet-doorborende schade.
4. Schampschade (*ricochet*). Wanneer de inslaghoek op een plaat flauw is, kan het object de plaat niet volledig doorboren en ketst af, waardoor niet-doorborende schampschade ontstaat.

Zie Figuur 3 tot en met Figuur 6 voor voorbeelden van de diverse soorten schade aan de wrakstukken van vlucht MH17.

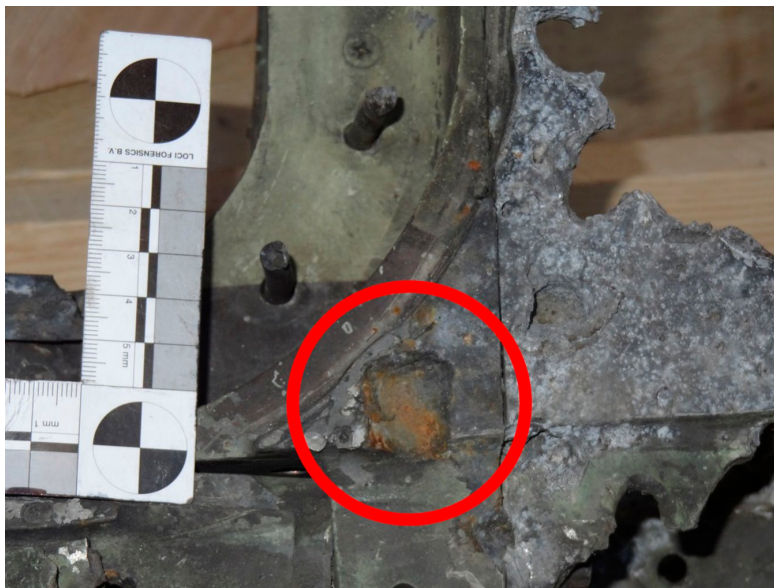
De geïdentificeerde inslagschade op de wrakstukken wijst erop dat het vliegtuig werd geraakt door een groot aantal hoogenergetische objecten van diverse vormen en maten.



Figuur 3: Doordringende schade (Bron: OVV)



Figuur 4: Ponsschade (Bron: OVV)



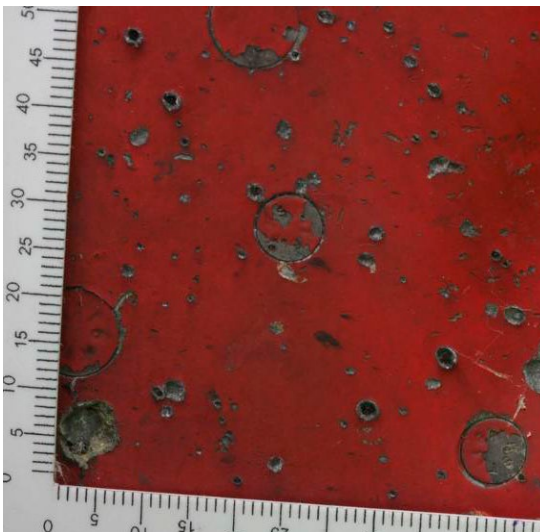
Figuur 5: Niet-doorborende schade



Figuur 6: Schampschade (Bron: OVV)

2.2 Pitting (putvorming)

Naast de directe inslagschade van hoogenergetische objecten die op het vliegtuig is gevonden, werd op sommige delen van de wrakstukken van de cockpit ook *pitting* waargenomen [3]. *Pitting* is een fenomeen dat ontstaat op metalen oppervlakken die zich in de nabijheid van detonerende springstoffen bevinden en is een indicatie voor een ontploffing dichtbij (Figuur 7).



Figuur 7: Pitting (Bron: OVV)

2.3 Oorsprong

De waargenomen inslagschade door hoogenergetische objecten kwam van buiten het vliegtuig. Zowel de waargenomen doordringende schade als de ponsschade zijn geïdentificeerd als inkomende schade waarbij het plaatmateriaal naar binnen is gebogen (Figuur 8). De niet-doorborende schade en de schampschade komen ook duidelijk van buiten het vliegtuig.



Figuur 8: Plaatmateriaal naar binnen gebogen. Gezien vanaf de binnenkant van de constructie

Op bepaalde delen van de constructie, waar meerdere lagen plaatmateriaal waren samengeklonken, sloegen sommige hoogenergetische objecten in de constructie in onder een flauwe hoek, waarbij de buitenste plaat van de constructie werd doorboord en de objecten afketsten van de tweede plaat om via de buitenste plaat weer naar buiten te komen. Dit veroorzaakt doorboring van de buitenste laag, zoals te zien is in Figuur 9.



Figuur 9: Doorboring van de buitenste laag

2.4 Uitschotschade

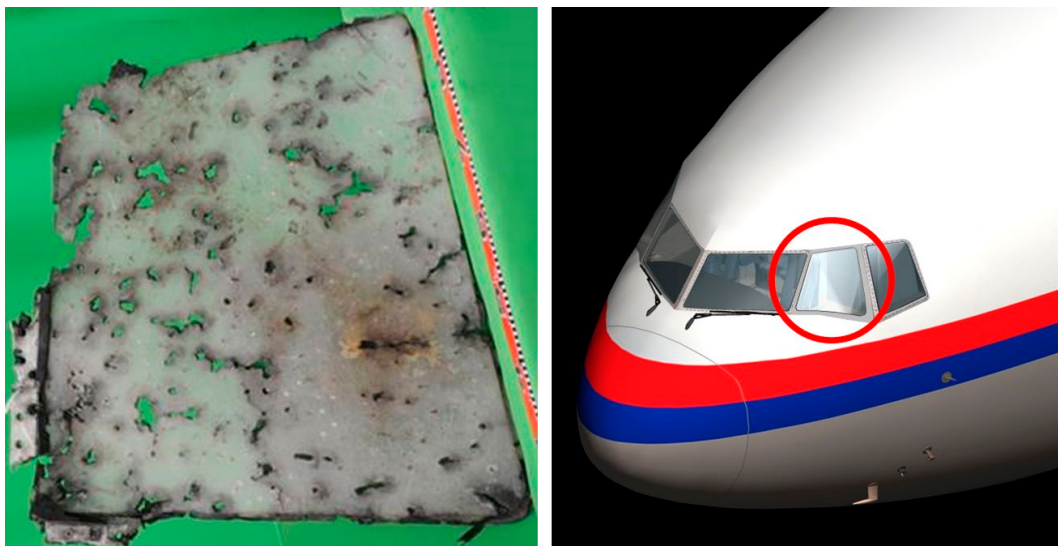
Aan de wrakstukken aan de rechter onderkant van de cockpit is uitschotschade (*exit damage*) waargenomen (Figuur 10). Dit is een indicatie van een inslagrichting op de cockpit van linksboven naar rechtsonder.



Figuur 10: Uitschotschade aan de rechteronderkant van de cockpit

2.5 Aantal treffers en dichtheid

Na telling bleek het totale aantal treffers van alle soorten inslagschade op de initieel beschikbare wrakstukken 304 te zijn. Na deze telling zijn er extra wrakstukken beschikbaar gekomen. Rekening houdend met de extra treffers op deze wrakstukken wordt het totale aantal treffers geschat op meer dan 350. Rekening houdend met de delen van de constructie die niet beschikbaar zijn, is door middel van extrapolatie het aantal totale aantal treffers door hoogenergetische objecten op het getroffen gebied van de romp geschat op meer dan 800. De hoogste dichtheid van treffers werd gevonden op het middelste raam, aan de linkerzijde van de gezagvoerder (raam nummer 2). De cockpitramen zijn gemaakt van meerdere lagen glas en kunststof en één van deze lagen is teruggevonden. In Figuur 11 is deze laag en de positie van het raam in de cockpit weergegeven. De dichtheid in dit gebied is berekend op rond de 250 treffers per vierkante meter.



Figuur 11: Linker cockpitraam raam nummer 2 en positie (Bron: OVV)

2.6 Grootte van de doorboringsschade

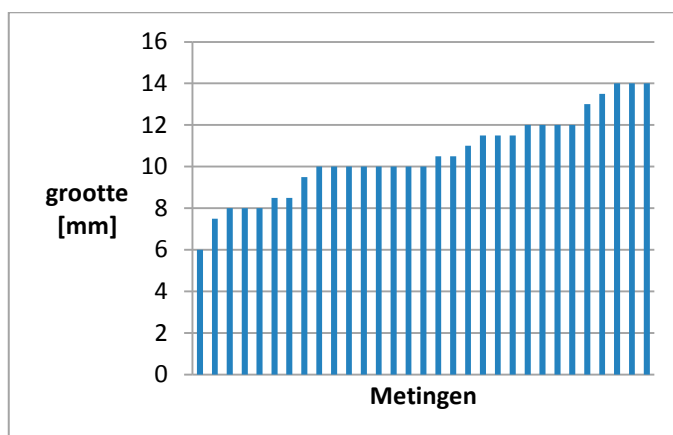
Op het wrakstuk van de cockpit met het grootste aantal doorboringen werd de grootte van de perforaties veroorzaakt door deze doorboringen gemeten (Figuur 12). Alleen de schade waarvan werd beoordeeld dat deze het resultaat was van afzonderlijke objecten die de plaat volledig hadden doorboord, werd meegenomen. Van elke perforatie werd de afmeting loodrecht op de inslagrichting gemeten (Figuur 13). Alleen deze afmeting geeft een indicatie van de grootte van het voorwerp dat de schade heeft veroorzaakt. De grotere afmeting, evenwijdig aan de projectie van de inslagrichting op de plaat, is het resultaat van de snelheid en de hoek waarmee het voorwerp de plaat raakt. Zoals te zien is in Figuur 14, varieert de gemeten grootte tussen de 6 mm en 14 mm.



Figuur 12: Wrakstuk gebruikt voor de meting van de grootte van de doorboringsschade



Figuur 13: Meting van de doorboringsschade



Figuur 14: Grootte van de doorboringsschade

2.7 Regelmaat van de treffers

Op diverse onderdelen van de wrakstukken was een regelmatig patroon van treffers te zien. In Figuur 15 en Figuur 16 zijn voorbeelden te zien van treffers op regelmatige afstanden. Deze regelmaat van treffers is een indicatie dat de schade werd veroorzaakt door een springkop met voorgevormde, afzonderlijke fragmenten. Zie paragraaf 6.10 voor een meer gedetailleerde bespreking van dit onderwerp.



Figuur 15: Regelmaat van treffers op de bovenste raamstijl van de cockpit



Figuur 16: Regelmaat van treffers op de onderste raamstijl van de cockpit

2.8 Locatie van de schade

De hoofdlocatie van de inslagschade door hoogenergetische objecten is aan de linker bovenkant van de cockpit. De rechterkant van de cockpit vertoont geen inslagschade door hoogenergetische objecten. In het bijzonder de twee zijruiten aan de kant van de copiloot aan de rechterkant hebben geen doorboringsschade (perforaties) zoals te zien is in Figuur 17.



Figuur 17: Rechterkant van de cockpit

2.9 Grens van de inslagschade

Er is een relatief duidelijke grens tussen de delen van het wrak die zijn geraakt door de inslag van hoogenergetische objecten en de delen die niet zijn geraakt. Aan de voorzijde van de cockpit ligt deze grens bij de voorste hoek van de voorruit, aan de kant van de gezagvoerder (linkerkant). Figuur 18 toont deze hoek samen met de twee ruitenwissers. De voorste inslagschade is net boven en achter deze hoek te vinden, zoals te zien is aan de doorboringsschade (perforaties) in het glas.



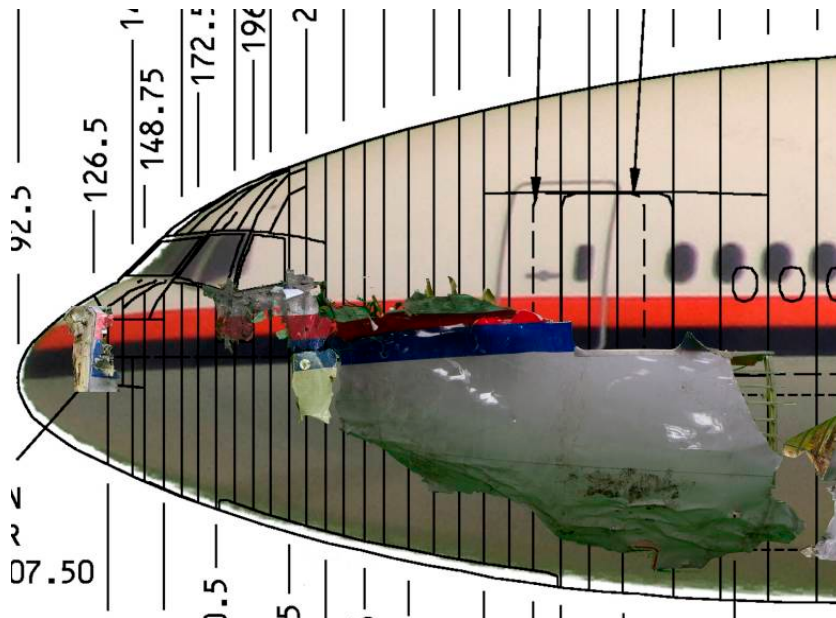
Figuur 18: Voorste hoek van de voorruit aan de linkerkant van de cockpit (Bron: OVV)

Aan de boven- en rechterkant van de cockpit wordt de grens bepaald door de schampschade op het dak van de cockpit, zoals te zien is in Figuur 19. Aan de rechterkant (stuurboordzijde) van dit gebied is geen inslagschade aanwezig.



Figuur 19: Rechterkant van het cockpitdak (kijkend van voor naar achter)

De achterste grens van de inslagschade bevindt zich aan de linkerkant vóór de voorste linker passagiersdeur. Figuur 20 tot en met Figuur 22 tonen de achterste schampschade veroorzaakt door afketsing van hoogenergetische objecten.



Figuur 20: Positie van het linkerpaneel (Bron: OVV)



Figuur 21: Linkerpaneel met schampschade door afketsing



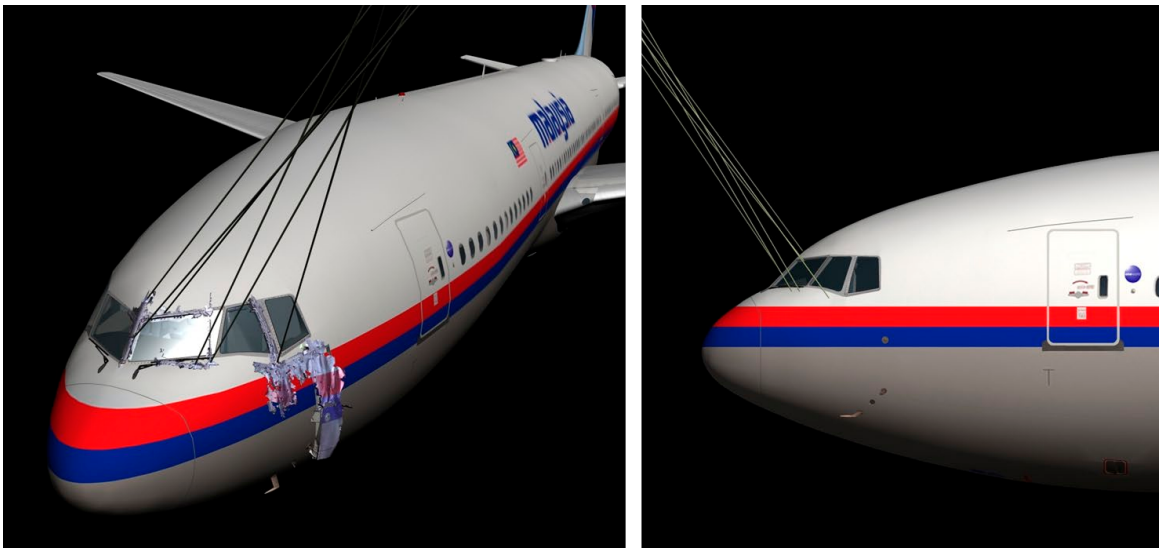
Figuur 22: Detail van de schampschade van het linkerpaneel

2.10 Richting van de inslag

Om de baan van de hoogenergetische objecten te bepalen werd de richting van de schade op diverse onderdelen van de cockpit geanalyseerd. Met behulp van glasvezelstaven en 3D-scans van de constructie werd de richting van de hoogenergetische objecten die meerdere lagen hadden doorboord vastgesteld. De resultaten van deze analyse zijn te vinden in Figuur 23 en Figuur 24. Ook werd de forensische techniek *stringing* (het spannen van draden) gebruikt om de globale richting van de inslagschade op de wrakstukken te analyseren, zoals te zien is in Figuur 25. De herleide banen van de doorboringsschade komen bijeen in een gebied linksboven de cockpit.



Figuur 23: Inslagrichting van de hoogenergetische objecten



Figuur 24: 3D-scan van de inslagrichting en oorsprong van de hoogenergetische objecten



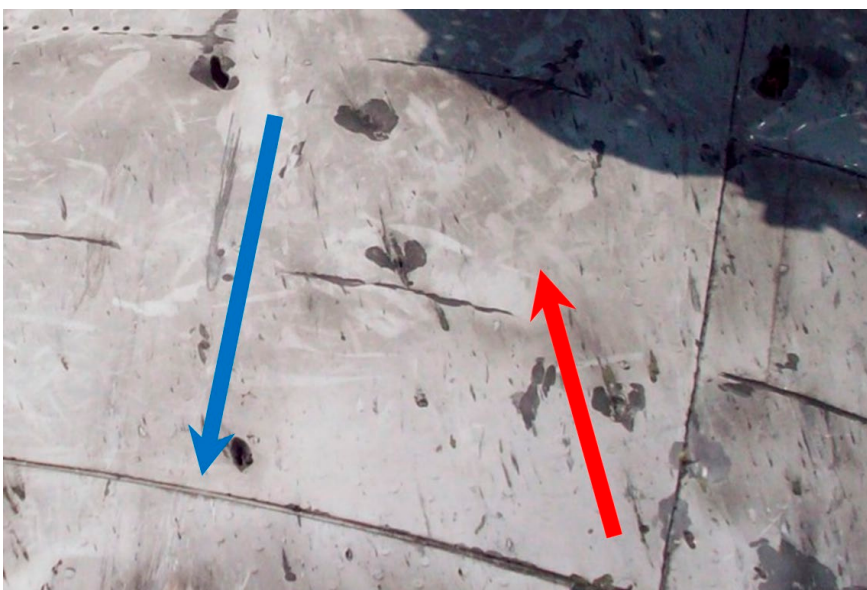
Figuur 25: Herleiden van de inslagrichting van de hoogenergetische objecten (stringing) om het algemene oorsprongsgebied te bepalen (Bron: OVV)

Bij de niet-doorborende schampschade werd de hoek ten opzichte van de constructie gemeten om de richting te kunnen bepalen in het vlak van de vliegtuighuid. Dit werd gedaan voor het cockpitdak (Figuur 26) en de linkerkant van de cockpit.



Figuur 26: Lokale richting van de schampschade aan het cockpitdak aangegeven door linialen

Omdat een deel van het cockpitdak nog niet beschikbaar was voor de Onderzoeksraad voor Veiligheid ten tijde van het schrijven van dit rapport, is de inslaghoek van de schampschade op dit onderdeel bepaald aan de hand van foto's. De positie van dit deel is aan de bovenkant van de cockpit, meer richting de achterkant van het vliegtuig. In Figuur 27 is een detail van dit cockpitdak te zien. De vliegrichting wordt aangegeven door een blauwe pijl en de inslagrichting van de schampschade met een rode pijl.



Figuur 27: Richting van de schampschade (rood) op het cockpitdak. De blauwe pijl geeft de vliegrichting aan (Bron: OVV)

Gebaseerd op de analyse van de richting van zowel de doorborende- als de niet doorborende schade door hoogenergetische objecten, lijken alle objecten te komen uit een gebied linksboven de cockpit.

2.11 Overige inslagschade

Naast de schade door hoogenergetische objecten aan de cockpit zijn er twee andere gebieden waar inslagschade werd waargenomen: de voorste ring van de motorgondel van de linker motor en de linker vleugeltip. De ring aan de voorkant van de motorgondel van de linker motor is een holle constructie bestaande uit een aerodynamisch gevormde, gekromde voorzijde en een platte achterzijde. Een aantal voorwerpen heeft beide delen van deze constructie van voor naar achteren doorboord, waaruit de richting van de baan van het doorborende voorwerp kan worden herleid. In Figuur 28 en Figuur 29 zijn de perforaties van de voorste en de achterste plaat aangegeven, die zijn veroorzaakt door hetzelfde object. In Figuur 29 is het mogelijk om door beide gaten heen te kijken en daarmee een richtingshoek door deze gaten te bepalen. De ring is op de juiste plaats neergezet ten opzichte van de cockpit, waarvan de achterkant van het voorste drukschot zichtbaar is aan de rechterkant van Figuur 29. De waargenomen perforaties laten zien dat de voorwerpen globaal vanuit een gebied linksboven de cockpit kwamen. De afmetingen van de schade veroorzaakt door objecten die zowel de voorzijde als de achterzijde van de ring hebben doorboord, is significant groter dan die van de inslagschade op de wrakstukken van de cockpit. De grootte van alle perforaties van de voorzijde van de ring is gemeten en ligt tussen 1 mm en 200 mm. Van deze 47 perforaties hebben er slechts 5 dezelfde afmetingen (6 – 14 mm) als de gaten die gemeten zijn op het cockpit paneel van Figuur 14. De objecten die deze 5 perforaties hebben veroorzaakt, hebben geen van allen ook de achterzijde van de ring doorboord.



Figuur 28: Inslagschade aan de voorzijde van de ring van de motorgondel

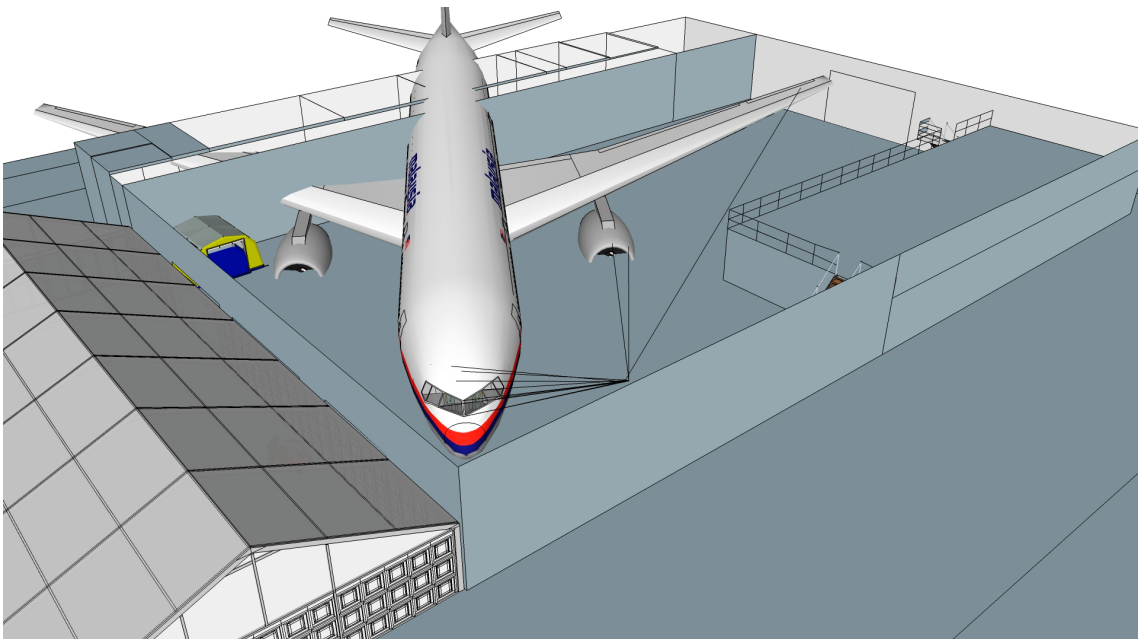


Figuur 29: Inslagschade aan de achterzijde van de ring van de motorgondel

Aan de linker vleugeltip werd aan de bovenkant schade van voor naar achter waargenomen. De richting naar de oorsprong van deze schade loopt globaal in de richting naar een gebied iets links van de cockpit (Figuur 30). Alle inslagrichtingen zijn te herleiden naar hetzelfde globale gebied, zoals te zien is in Figuur 31.



Figuur 30: Schade aan de linker vleugeltip



Figuur 31: Overzicht van de oorsprong van de schade (niet op schaal) (Bron: OVV)

2.12 Gevonden fragmenten

In de wrakstukken van de cockpit zijn diverse fragmenten gevonden die niet afkomstig zijn van het vliegtuig. Hiervan is beoordeeld dat deze de hoogenergetische objecten, of delen van de hoogenergetische objecten zijn, die het vliegtuig van buitenaf hebben doorboord. Een aantal van deze fragmenten hebben een uitgesproken vlindervorm, zoals te zien is in Figuur 32.



Figuur 32: Vlindervormig fragment gevonden in de wrakstukken van de cockpit, grootte in mm (Bron: OVV)

2.13 Conclusie schadeonderzoek

Op basis van het schadeonderzoek aan de wrakstukken van vlucht MH17 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De inslagschade toont aan dat het vliegtuig werd geraakt door kleine objecten die het vliegtuig met een hoge snelheid van buitenaf doorboorden.
- De wrakstukken van de cockpit telden meer dan 350 treffers en naar schatting is de cockpit in totaal door meer dan 800 fragmenten geraakt als rekening wordt gehouden met delen van de constructie van de cockpit die niet beschikbaar waren.
- De oorsprong, dichtheid, locatie, grens en richting van de schade toont aan dat de objecten vanaf één gebied buiten het vliegtuig, linksboven de cockpit kwamen.
- De schade aan de voorste ring van de linker motorgondel en de linker vleugeltip toont aan dat deze onderdelen werden geraakt door voorwerpen met een globale bewegingsrichting van voor naar achter.
- De *pitting* (putvorming) die op de wrakstukken van de cockpit werd waargenomen, wijst op een ontploffing in de nabijheid van de cockpit.
- De grootte van de doorboringsschade is een aanwijzing dat de objecten die de schade aan de cockpit hebben veroorzaakt, een grootte tussen de 6 en de 14 mm hadden.
- De grootte van de doorboringsschade in de ring van de linker motorgondel is een aanwijzing dat de objecten die deze schade hebben veroorzaakt, een grootte tussen de 1 en de 200 mm hadden.
- De regelmaat van de treffers is een aanwijzing dat de schade is veroorzaakt door een springkop met voorgevormde fragmenten.
- De fragmenten die in de wrakstukken van de cockpit zijn gevonden tonen aan dat één type fragment van de springkop een kenmerkende vlindervorm had.

Op basis van bovenstaande punten kan worden geconcludeerd dat de inslagschade op de wrakstukken van vlucht MH17 is veroorzaakt door een springkop met diverse typen voorgevormde fragmenten in de ordegrootte van 6 tot 14 mm, waarbij ten minste één type een vlindervorm had, en waarbij de springkop linksboven de cockpit tot ontploffing is gekomen.

3 Onderzochte scenario's

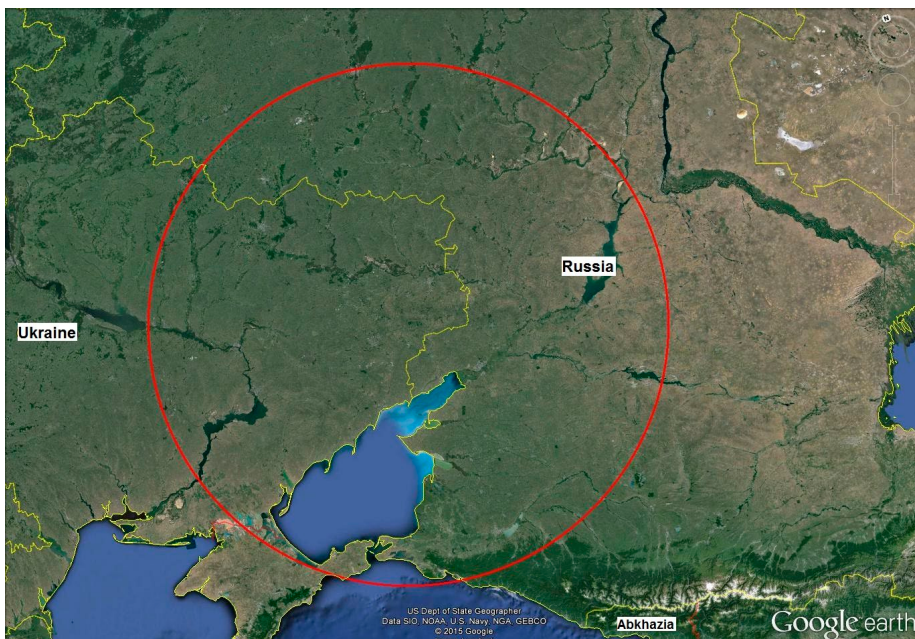
3.1 Focus van het onderzoek

Om de mogelijke oorzaak van de schade door hoogenergetische objecten te onderzoeken, zijn drie scenario's geanalyseerd. Deze scenario's zijn gebaseerd op het volgende:

1. De schade door hoogenergetische objecten op vlucht MH17 is veroorzaakt door de effecten van een wapensysteem buiten het vliegtuig.
2. Alleen wapensystemen die in gebruik zijn in de regio zijn meegenomen in de analyse.

3.2 Proliferatie

Om een lijst van operationele wapensystemen die in de regio in gebruik zijn op te stellen is een cirkel met een straal van 400 km rondom de laatst bekende positie van de *Flight Data Recorder* (FDR) getekend (Figuur 33). Omdat het maximale bereik van alle bekende operationele luchtdoel raketsystemen minder is dan 400 km, is het zeker dat een raketsysteem zich ten tijde van de lancering binnen deze straal bevond. Binnen deze cirkel bevinden zich twee landen: Oekraïne en Rusland. Omdat er geen informatie beschikbaar is over de exacte locatie van de wapensystemen van deze twee landen binnen hun grondgebied ten tijde van de crash, worden alle operationele wapensystemen van beide landen in het onderzoek meegenomen. Er zijn geen aanwijzingen dat er wapensystemen in de regio aanwezig waren van andere landen dan Rusland en Oekraïne.



Figuur 33 Cirkel met een straal van 400 km rond de laatst bekende positie van de FDR (Bron: Google earth)

3.3 Specifieke scenario's

Op basis van bovengenoemde criteria zijn initieel drie scenario's met specifieke wapensystemen afgeleid. Deze scenario's en de bijbehorende wapensystemen zijn geselecteerd op basis van hun operationele kenmerken. In de loop van het onderzoek is het aantal onderzochte wapensystemen uitgebreid om volledige klassen van wapensystemen uit te kunnen sluiten.

4 Scenario 1: boordkanon

4.1 Su-25 (Frogfoot)

Het specifieke boordkanon scenario concentreert zich op de Sukhoi Su-25, NAVO codenaam: Frogfoot (Figuur 34). De Su-25 is een eenpersoons, tweemotorig, subsonisch vliegtuig voor grondondersteuning vanaf lage hoogte. Het is ontworpen als aanvalsvliegtuig tegen gronddoelen om luchtsteun te leveren aan grondtroepen die in contact zijn met vijandelijke troepen. De hoofdtaak van het vliegtuig is om vijandige strijdkrachten op de grond, waaronder tanks en pantservoertuigen, aan te vallen. De rol van het vliegtuig is vergelijkbaar met die van de Amerikaanse Fairchild Republic A-10 Thunderbolt.



Figuur 34: Su-25

4.2 Prestaties van de Su-25

De prestaties van de Su-25 zijn geoptimaliseerd voor lage vlieghoogte en zijn op zijn best middelmatig op grotere hoogten. De maximale vlieghoogte is beperkt, maar het vliegtuig is in staat 33.000 voet (10.058 meter) te bereiken, dezelfde hoogte waarop vlucht MH17 vloog. Het gepubliceerde gebruiksplafond van 7.000 meter (ca. 23.000 voet) heeft te maken met fysiologische beperkingen, omdat het vliegtuig niet is uitgerust met een drukcabine. De piloot heeft wel de beschikking over een zuurstofmasker om operaties op hoogtes boven de 10.000 voet (ca. 3.000 meter) uit te kunnen voeren en de piloot is naar verwachting in staat korte tijd op 33.000 voet te kunnen opereren.

De twee straalmotoren van de Su-25 hebben geen naverbrander (*afterburner*), waardoor de beschikbare stuwkracht beperkt is. De klim naar 33.000 voet zal daarom relatief lang duren (ca. 5 minuten), vergeleken met de 2 minuten van vliegtuigen die wel zijn uitgerust met een naverbrander. De wendbaarheid op 33.000 voet wordt beoordeeld als zeer beperkt.

De maximaal haalbare, werkelijke luchtsnelheid (TAS) van de Su-25 op 33.000 voet is berekend. Zoals te zien is in Tabel 1 is deze luchtsnelheid een stuk lager dan de luchtsnelheid waarop vlucht MH17 vloog. Dit sluit een achtervolgingsprofiel, waarbij het gevechtsvliegtuig het doelvliegtuig van achter nadert, uit.

Tabel 1: Vergelijking luchtsnelheid

	Snelheid TAS [knopen]	Snelheid TAS [km/u]
MH17	484 (werkelijk)	896 (werkelijk)
Su-25	405 (maximum)	750 (maximum)
Snelheidsverschil	79	146

4.3 Overzicht van boordkanonnen in vliegtuigen

Het onderzoek is uitgebreid naar alle vliegtuigen met een boordkanon in de regio. Tabel 2 en Tabel 3 geven een overzicht van de gevechtsvliegtuigen met boordkanon, inclusief de Su-25 Frogfoot, in dienst van de Russische Federatie en Oekraïne. Ieder vliegtuigtype in deze lijst heeft één of meer versies. De versies van de genoemde vliegtuigtypen hebben of hetzelfde boordkanon, of hebben geen operationeel boordkanon; daarom zijn de afzonderlijke versies niet opgenomen in de lijst. De luchtmacht van de voormalige Sovjet-Unie heeft het gebruik van het boordkanon van de Su-24 verboden naar aanleiding van twee crashes waarin vroegtijdige detonatie van munitie een rol speelde. Sinds 1983 vliegt de Su-24 daarom met een functioneel kanon, maar zonder munitie. De verwachting is dat de Oekraïense luchtmacht het gebruik van het kanon op de Su-24 eveneens verboden heeft.

Tabel 2: Oekraïense gevechtsvliegtuigen en hun boordkanonnen

Type boordkanon				
Type vliegtuig	GSh-30	GSh-301	GSh-6-23	Hoeveelheid Munitie
Sukhoi Su-24			✓	0
Sukhoi Su-25	✓			250
Sukhoi Su-27		✓		150
Mikoyan MiG-29		✓		150

Tabel 3: Russische gevechtsvliegtuigen en hun boordkanonnen

Type boordkanon	GSh-30	GSh-301	GSh-6-23	Hoeveelheid Munitie
Type vliegtuig				
Sukhoi Su-24			✓	0
Sukhoi Su-25	✓			250
Sukhoi Su-27		✓		150
Sukhoi Su-30		✓		150
Sukhoi Su-33		✓		150
Sukhoi Su-34		✓		150
Sukhoi Su-35		✓		150
Mikoyan MiG-29		✓		150
Mikoyan MiG-31			✓	260

4.4 Gsh-30

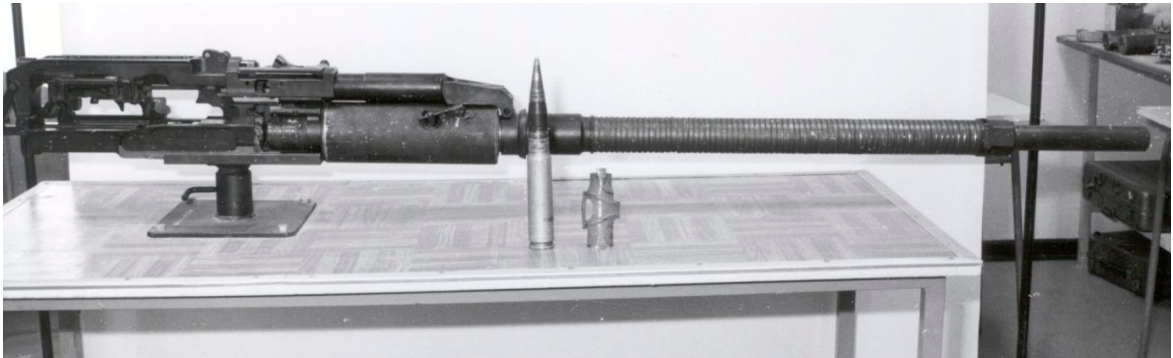
De GSh-30 is een dubbelloops automatisch boordkanon (Figuur 35). Het kaliber is 30 mm, wat betekent dat de projectielen (kogels) die de loop verlaten een diameter van 30 mm hebben.



Figuur 35: GSh-30-vliegtuig boordkanon (Bron: airforce.ru)

4.5 Gsh-301

De GSh-301 is een enkelloops automatisch boordkanon met een kaliber van 30 mm (Figuur 36).



Figuur 36: GSh-301-boordkanon

4.6 Gsh-6-23

De GSh-6 is een zesloops, roterend, automatisch boordkanon met een kaliber van 23 mm (Figuur 37).



Figuur 37: GSh-6-23 boordkanon (Bron: afwing.com)

4.7 Aanvalsgeometrie

De gevonden inslagen van hoogenergetische objecten bevinden zich aan de linker voorkant en bovenkant van de cockpit en aan de voorkant van de ring van de linker motorgondel. Dit sluit de meest voorkomende aanvalsrichting voor een aanval met een boordkanon uit: namelijk van achter. Om de linker voorkant van vlucht MH17 te kunnen raken, moet een gevechtsvliegtuig een frontale aanval van links uitvoeren. In dit aanvalsprofiel is de naderingssnelheid tussen de twee vliegtuigen zeer hoog, waardoor er weinig tijd is voor het juist richten en afvuren van het kanon. Aan het einde van deze aanval moet het gevechtsvliegtuig snel

wegdraaien om een botsing in de lucht te voorkomen. Dit maakt een frontale aanval van links een zeer moeilijke en gevaarlijke manoeuvre.

4.8 Visuele identificatie

Vanwege de dynamica die bij een aanval met een boordkanon komt kijken, wordt een vizier gebruikt om het vliegtuig in het zicht te krijgen en het kanon op het doel te richten. De afstand waarop een effectieve aanval met een kanon kan worden uitgevoerd, is beperkt. Binnen deze korte afstanden kan de piloot van het gevechtsvliegtuig een groot vliegtuig zoals de Boeing 777 duidelijk als een burgervliegtuig herkennen. Daarom wordt een foutieve visuele identificatie zeer onwaarschijnlijk geacht.

4.9 Aantal patronen

Op de beschikbare wrakstukken van de cockpit van vlucht MH17 zijn meer dan 350 treffers geïdentificeerd en er is geschat dat in totaal meer dan 800 treffers de cockpit hebben geraakt als rekening wordt gehouden met de delen van de constructie die niet beschikbaar waren. Tabel 2 en Tabel 3 laten zien dat de onderzochte gevechtsvliegtuigen maximaal 150 - 260 patronen mee kunnen nemen, wat betekent dat deze vliegtuigen niet het aantal treffers zouden hebben kunnen produceren vanwege gebrek aan munitie. Daarnaast is het aantal projectielen (kogels) dat een doel in de lucht zal treffen in een frontale luchtaanval van links berekend op maximaal enkele tientallen; veel minder dan het aantal treffers dat is waargenomen op de wrakstukken van vlucht MH17.

4.10 Dichtheid

De dichtheid van de treffers op een luchtdoel wordt geschat op niet meer dan 2 per vierkante meter vanwege de moeilijkheid van het richten, het spreidingspatroon van het kanon en de dynamica van de aanvalsm manoeuvre. Dit is veel minder dan de maximale dichtheid van rond de 250 treffers per vierkante meter zoals die is waargenomen op de wrakstukken van vlucht MH17.

4.11 Richting

De projectielen uit een boordkanon bewegen zich in min of meer parallelle banen naar het doel. Zoals te zien is in paragraaf 2.10 komen de herleide banen van de hoogenergetische objecten die vlucht MH17 raakten, allemaal bijeen in een enkel gebied vlak naast het vliegtuig, en zijn derhalve niet parallel.

4.12 Type schade

Een pantserdoorborend projectiel van 23 of 30 mm laat een gat in een dunwandige metalen constructie, zoals dat van een burgervliegtuig, achter met

een min of meer ronde of elliptische vorm met rafelige randen die naar binnen zijn gericht. De grootte van de opening is ten minste gelijk aan, maar over het algemeen groter dan het kaliber van het projectiel. Metingen van de schade van hoogenergetische objecten op het paneel van vlucht MH17 toonden aan dat de gemiddelde grootte van de gaten in dit paneel rond de 11 mm is. Een pantserdoorborend projectiel van 23 of 30 mm kan geen inslag van 11 mm produceren. Een voorbeeld van het soort inslagschade van een pantserdoorborend projectiel van 30 mm, afgevuurd door een GSh-30-kanon, is te zien in Figuur 38 en Figuur 39. Een projectiel van 23 of 30 mm met een hoog-explosieve lading is ontworpen om zijn doel te doorboren en daarna te detoneren. Er zal dientengevolge fragmentatieschade van binnenuit optreden, en de schokgolf van de explosie zal de constructie van binnenuit vervormen. Wanneer hoog-explosieve en brandstichtende projectielen worden gebruikt, is er ook brandschade te verwachten aan de binnenkant van het doel, vanwege de brandstichtende componenten in het projectiel. Bovengenoemde soorten schade werden niet waargenomen aan de wrakstukken van vlucht MH17.



Figuur 38: GSh-30 projectielschade (Bron: YouTube)



Figuur 39: Detail van GSh-30 projectielschade (Bron: YouTube)

4.13 Conclusie boordkanon scenario

De schade die is waargenomen aan de wrakstukken komt niet overeen met de schade die wordt veroorzaakt door een boordkanon wat betreft het aantal treffers, de dichtheid van de treffers, de richting van de projectielbanen, en het type schade. De inslagschade op de wrakstukken van vlucht MH17 is daarom niet veroorzaakt door een boordkanon van een gevechtsvliegtuig.

5 Scenario 2: lucht-lucht raket

5.1 R-60

Het specifieke lucht-lucht raket scenario concentreert zich op de R-60 lucht-lucht raket (NAVO codenaam: AA-8 'Aphid') (Figuur 40). De R-60 is een kleine, infrarood geleide raket tegen luchtdoelen op korte afstand. De raket kan worden gebruikt door de meeste operationele gevechtsvliegtuigen die in de voormalige Sovjet-Unie zijn ontworpen. De lengte van de raket is 2,10 meter en het gewicht is 44 kg, wat de raket tot één van de kleinste operationele, door gevechtsvliegtuigen gebruikte, lucht-lucht raketten maakt.



Figuur 40: R-60 lucht-lucht raket (Bron: topwar.ru)

5.2 Aanvalsgeometrie

Van de infraroodzoeker van de R-60 is beoordeeld dat deze vrijwel niet in staat is om een verkeersvliegtuig van voren te detecteren en aan te vallen. De zoeker heeft een ononderbroken zichtlijn naar de hete delen aan de achterkant van de vliegtuigmotor nodig om het doel goed te kunnen detecteren en te blijven volgen (*lock-on*). Dit betekent dat de enige praktisch uitvoerbare aanvalsgeometrie een zogeheten *tail-on engagement* is, waarbij het gevechtsvliegtuig het doelwit van achter nadert.

5.3 Visuele identificatie

De R-60 raket wordt alleen gebruikt voor zogeheten *Within Visual Range* (WVR) aanvallen, wat betekent dat de raket beperkt is tot aanvallen binnen zichtbereik.

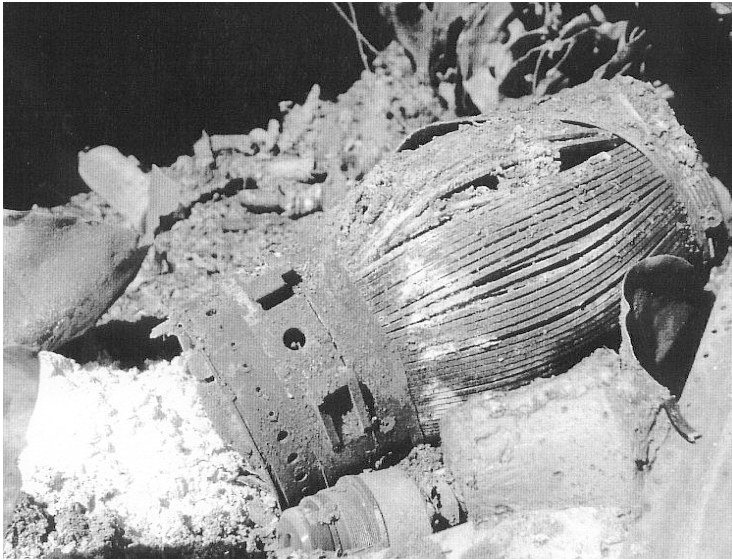
De afstand waarop de zoeker van de R-60 een vliegtuig goed kan volgen is beperkt, en op deze afstand zal de piloot van het gevechtsvliegtuig een groot vliegtuig zoals de Boeing 777 duidelijk als een burgervliegtuig kunnen herkennen.

5.4 Hoeveelheid schade

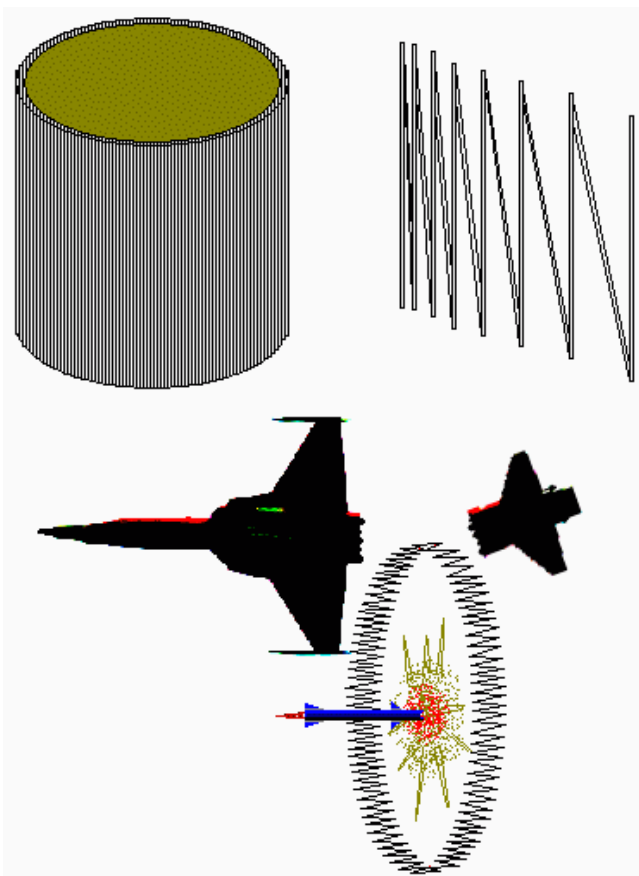
De R-60 is uitgerust met een kleine springkop van 3 tot 3,5 kg met beperkte effectiviteit. De hoeveelheid schade van hoogenergetische objecten die aan de wrakstukken van vlucht MH17 werd aangetroffen komt niet overeen met een springkop van deze omvang.

5.5 Type schade

De R-60 is uitgerust met een springkop met metalen staven (*rod warhead*). In dit type springkop zijn een groot aantal metalen staven cilindrisch aan de buitenkant van de springstof aangebracht. Figuur 41 toont deze constructie in de verbrande springkop van een AIM-7 Sparrow raket. Deze specifieke springkop is ongeveer 11 keer zwaarder dan de springkop van de R-60. Figuur 42 toont het type schade dat wordt veroorzaakt door een zogeheten *continuous rod* (aaneengesloten staven) springkop. In een *continuous rod* springkop zijn de metalen staven aan de uiteinden aan elkaar gelast. Door de schokgolf van de explosie expanderen de staven naar buiten, waardoor een zich steeds verder uitbreidende ring met staven ontstaat. Daar waar deze ring inslaat, ontstaat een langwerpige, doorlopende inslag in het oppervlak en de onderliggende constructie. Figuur 43 toont een voorbeeld van de schade veroorzaakt door de *continuous rod* springkop van de bovengenoemde AIM-7 Sparrow raket. In een zogeheten *discrete rod* (losse staven) springkop zijn de staven los van elkaar en niet aan elkaar gelast. Figuur 44 toont een voorbeeld van schade veroorzaakt door deze losse staven aan de constructie van een vliegtuig. Geen van beide typen schade van springkoppen met metalen staven werd waargenomen aan de wrakstukken van vlucht MH17.



Figuur 41: Verbrande springkop met metalen staven van een AIM-7 Sparrow. (Bron: zianet.com)



Figuur 42: Schademecanisme van een springkop met metalen staven (continuous rod) (Bron: Wikipedia)



Figuur 43: Schade door de springkop met metalen staven van AIM-7 Sparrow (continuous rod) (Bron: navalofficer.com.au)



Figuur 44: Schade van losse staven (discrete rod) (Bron: PPRuNe.org)

5.6 Gebruikte materialen

De staven van de R-60 zijn gemaakt van verarmd uranium. Er werden geen sporen van verarmd uranium op de wrakstukken van vlucht MH17 gevonden.

5.7 Conclusie scenario lucht-lucht raket R-60

De schade die is waargenomen aan de wrakstukken komt niet overeen met de schade die wordt veroorzaakt door de springkop van het type R-60 lucht-lucht raket wat betreft de hoeveelheid schade, type schade en gebruikte materialen. De schade aan de wrakstukken van vlucht MH17 is daarom niet veroorzaakt door een lucht-lucht raket van het type R-60.

5.8 Overzicht lucht-lucht raketten

Tabel 4 en Tabel 5 geven een overzicht van de lucht-lucht geleide raketten die bij de Russische Federatie en Oekraïne in gebruik zijn. Elke type raket in deze tabellen heeft één of meerdere versies. De versies van de genoemde typen raketten maken allen gebruik van de aangegeven springkop; de individuele versies zijn daarom niet opgenomen in de lijst.

Tabel 4: Lucht-lucht raketten in gebruik bij Oekraïne

Raket	Type springkop	Gewicht springkop [kg]
R-27	Staven	39
R-60	Staven	3 - 3.5
R-73	Staven	8

Tabel 5: lucht-lucht raketten in gebruik bij de Russische Federatie

Raket	Type springkop	Gewicht springkop [kg]
R-27	Staven	39
R-33	Fragmentatie	47
R-37	Fragmentatie	60
R-40	Fragmentatie	38
R-60	Staven	3 - 3.5
R-73	Staven	8
R-77	Staven	22.5

Omdat er geen schade van springkoppen met staven is waargenomen aan de wrakstukken van vlucht MH17 kunnen lucht-lucht raketten met een springkop met metalen staven deze schade niet hebben veroorzaakt. Enkel op basis van het type springkop zouden de lange-afstands luchtdoelraketten R-33, R-37 en R-40 van de Russische Federatie mogelijkwijs de op de wrakstukken waargenomen schade hebben kunnen veroorzaken. Omdat de fragmenten gebruikt in deze springkoppen echter niet de specifieke vliedervormige fragmenten bevatten die in het wrak zijn gevonden, kunnen deze springkoppen niet de schade aan de wrakstukken van vlucht MH17 hebben veroorzaakt.

5.9 Conclusie lucht-lucht raket scenario

De schade die is waargenomen aan de wrakstukken komt niet overeen met de schade die wordt veroorzaakt door de springkoppen met metalen staven die door de meeste lucht-lucht raketten worden gebruikt. De fragmenten van de fragmentatiespringkoppen die door andere lucht-lucht raketten worden gebruikt zijn niet consistent met de vlindervormige fragmenten die zijn gevonden in de wrakstukken. De inslagschade op de wrakstukken van vlucht MH17 is daarom niet veroorzaakt door een lucht-lucht raket.

6 Scenario 3: grond-lucht raket

6.1 Overzicht grond-lucht raketten

Er zijn rond de 20 typen grond-lucht raketten geïdentificeerd die operationeel zijn in de Russische Federatie en Oekraïne en die in staat zijn een doelwit op een hoogte van 33.000 voet te raken. Al deze raketten gebruiken radargeleiding en zijn uitgerust met een fragmentatiespringkop. Uit analyse blijkt dat alleen de raketten uit de 9M38-serie van de familie van BUK grond-lucht raketsystemen zijn uitgerust met een fragmentatiespringkop waarin de unieke vliedervormige fragmenten worden gebruikt die in de wrakstukken van vlucht MH17 zijn gevonden. Deze informatie is bevestigd door wapendeskundigen van het Russische onderzoeksteam, alsook door een vertegenwoordiger van Almaz-Antey, de grootste Russische wapenfabrikant en fabrikant van het BUK raketsysteem. Het scenario grond-lucht raket richt zich daarom uitsluitend op de 9M38-serie raketten die door de familie van BUK grond-lucht raketsystemen worden gebruikt.

6.2 BUK-grond-lucht raketsysteem

Het grond-lucht raketsysteem scenario (*Surface-to-Air Missile, SAM*) richt zich op het BUK grond-lucht raketsysteem 9K37, NAVO codenaam: SA-11/SA-17. De BUK is een mobiel luchtverdedigingssysteem voor de middellange afstand, voor doelen vliegend op lage tot hoge hoogte, met semi-actieve radargeleide raketten. Het systeem werd ontworpen in de voormalige Sovjet-Unie als een doorontwikkeling van zijn voorganger, de 2K12 KUB (NAVO codenaam: SA-6). De BUK werd operationeel in 1979 en is sindsdien meerdere keren gemoderniseerd. Tabel 6 toont de verschillende versies van de BUK.

Tabel 6: Versies van het BUK grond-lucht raketsysteem

Systeemnaam	BUK	BUK-M1	BUK-M1-2	BUK-M2
Systeemaanduiding	9K37	9K37M1	9K37M1-2	9K40
NAVO codenaam	SA-11	SA-11a	SA-11b	SA-17
TELAR-aanduiding	9A310	9A310M1	9A310M1-2	9A317
Raketaanduiding	9M38	9M38 9M38M1	9M38M1 9M317	9M317
Operationeel (jaar)	1979	1983	1998	2007

6.3 BUK TELAR

Het lanceervoertuig wordt een *Transporter Erector Launcher and Radar* (TELAR), ofwel mobiele raketlanceerinrichting met radar, genoemd. Zoals te zien is in

Tabel 6, zijn diverse TELARs in staat twee typen raketten af te vuren. De drie 9A310-typen TELARs zijn aan de buitenkant praktisch niet van elkaar te onderscheiden. De 9A317 TELAR kan herkend worden door de kleinere radarkoepel vergeleken met de 9A310-typen TELARs. De grote radarkoepel van de 9A310-typen TELARs is te zien aan de linkerkant van de draaibare opbouw in Figuur 45.



Figuur 45: BUK-M1-2 grond-lucht raketsysteem mobiele raketlanceerinrichting met radar (TELAR) 9A310M1-2 met twee 9M317 raketten (links) en twee 9M38M1 raketten (rechts)

6.4 Normale inzet

Bij een normale inzet opereert het BUK grond-lucht raketsysteem als een eenheid van verschillende rupsvoertuigen bestaande uit:

- één voertuig met de doelbepalingsradar (TAR)
- één commandopost voertuig (CP)
- diverse mobiele raketlanceerinrichting met radar (TELAR) voertuigen
- diverse mobiele raketlanceerinrichting zonder radar (TELL) voertuigen
- technische, onderhouds- en andere ondersteunende voertuigen

Een normale inzet begint wanneer de commandopost doelinformatie ontvangt van de hogere echelons en de doelbepalingsradar (TAR) gebruikt om de mogelijke doelwitten te zoeken en te detecteren. Wanneer een mogelijk doelwit is gedetecteerd en geïdentificeerd als vijandelijk, zal de vuurcontrole radar van de TELAR het doel opsporen en volgen. Wanneer het doel binnen bereik komt, is het mogelijk één of meerdere raketten van de TELAR en/of TELL op het doel af te vuren.

6.5 Autonome inzet

In tegenstelling tot zijn voorganger, de KUB, is de TELAR van het BUK systeem uitgerust met zijn eigen vuurcontrole-radar die zich binnen de radarkoepel bevindt. Dit geeft de TELAR de mogelijkheid om zelf een doel te zoeken en te onderscheppen, en volledig autonoom te opereren, zelfs als een vijandelijke aanval de doelbepalingsradar en/of de commandopost heeft uitgeschakeld. Een TELAR kan slechts mechanisch een beperkte sector scannen (in tegenstelling tot de doelbepalingsradar die 360° kan draaien) met een antenne die voornamelijk is ontworpen om een doel te volgen. De tijd die de TELAR nodig heeft om een doel te detecteren is daarom langer dan tijdens de normale inzet, maar het systeem is wel degelijk in staat een doel aan te vallen met enkel de TELAR, zonder hulp van buitenaf.

6.6 BUK raket

Tabel 7 geeft een overzicht van de operationele versies van de BUK raketten in de regio en de bijbehorende springkoppen.

Tabel 7: Versies van BUK raketten

Raketaanduiding	Springkopaanduiding	fragmenten
9M38	9N314	vuller, vierkant
9M38	9N314M	vlindervormig, vuller, vierkant
9M38M1	9N314M	vlindervormig, vuller, vierkant
9M317	9N318	onbekend

Zoals te zien in deze tabel kan de 9M38 raket zijn uitgerust met zowel de 9N314 als de 9N314M springkop. Een vertegenwoordiger van Almaz-Antey, de ontwerper van het BUK grond-lucht raketsysteem, stelde dat alleen de 9N314M springkop de vlindervormige fragmenten bevat. De 9M38 en de 9M38M1 raketten zien er aan de buitenkant nagenoeg hetzelfde uit. De 9M317 raket heeft een andere, grotere vleugelbreedte en een kortere vleugelkoorde (lengte) vergeleken met de oudere raketten, zoals te zien is in Figuur 45. De aanduiding 9M38(M1) zal verder in de tekst worden gebruikt om te verwijzen naar zowel de 9M38 als de 9M38M1 raket.

De 9M38(M1) raket is 5,55 m lang, weegt 690 kg en maakt gebruik van een semi-actieve radarsturing met proportioneel navigerende geleiding. Bij semi-actieve radarsystemen straalt de actieve vuurcontrole-radar op de grond (TELAR) het doelwit aan met een radarbundel. De passieve radarzoeker in de neus van de raket volgt de radarenergie die van het doelwit wordt gereflecteerd. Proportioneel navigerende geleidingssystemen gebruiken de

doelopsporingsinformatie die wordt verkregen van de zoeker om de raket direct naar het voorspelde onderscheppingspunt met het doel te sturen. Na lancering zal de raket een initiële koerscorrectie in de richting van dit onderscheppingspunt uitvoeren. Als het doel niet uitwijkt en niet zijn snelheid verandert, volgt de raket daarna een min of meer rechte lijn naar dit onderscheppingspunt.

6.7 Hoogtebereik

Zowel de BUK-vuurcontroleradar als de raket hebben een maximaal hoogtebereik van meer dan 33.000 voet, de hoogte waarop vlucht MH17 vloog.

6.8 Nabijheidsontsteker

De 9M38(M1) raket is uitgerust met zowel een botsings- als een nabijheidsontsteker. De botsingsontsteker detoneert de springkop wanneer de raket het doel raakt. In de meeste gevallen zal de raket echter het doel niet direct raken, maar dicht langs het doel vliegen. De nabijheidsontsteker maakt gebruik van een radarbundel in een kegel met een hoek naar voren ten opzichte van de langsas van de raket om de aanwezigheid van een doel te detecteren. Wanneer een deel van het doel de radarbundel passeert, wordt het doel gedetecteerd en activeert de ontsteker na een korte tijdsvertraging de springkop van de raket.

De nabijheidsontsteker van de 9M38(M1) raket is gesimuleerd tijdens de fase waarin de raket de Boeing 777 naderde. Dit liet zien dat vanwege de voorwaartse kijkhoek van de nabijheidsontsteker, het vliegtuig al wordt gedetecteerd, nog voordat de raket langs het vliegtuig vliegt. Almaz-Antey, de maker van het BUK grond-lucht geleide raketsysteem heeft additionele informatie over de werking en de tijdsvertragingen van de nabijheidsontsteker van de 9M38(M1) raket geleverd [4]. Gebaseerd op deze informatie en de uitgevoerde simulaties is beoordeeld dat de tijd die de nabijheidsontsteker nodig heeft om het vliegtuig te detecteren, de benodigde tijdsvertraging uit te voeren en linksboven de cockpit te detoneren, binnen de limieten van een normale werking valt. De locatie van de schade op de wrakstukken van vlucht MH17 komt daarom overeen met de effecten van een detonatiepunt van de springkop buiten het vliegtuig geïnitieerd door de nabijheidsontsteker van de 9M38(M1) raket.

6.9 Hoeveelheid schade

De 9M38(M1) raket heeft een relatief grote 70 kg hoog-explosieve fragmentatie springkop. De hoeveelheid schade die is waargenomen op de wrakstukken van vlucht MH17 is consistent met een springkop van deze grootte.

6.10 Type schade

De 9M38(M1) raket heeft een springkop met voorgevormde fragmenten. In een springkop met voorgevormde fragmenten wordt de springstof omhuld door één of meerdere lagen voorgevormde (afzonderlijke) fragmenten. Dit in tegenstelling tot de natuurlijke fragmentatie van een gladde buitenwand en de gecontroleerde fragmentatie van een gegroefde of ingekerfde buitenwand, waarbij de fragmenten (scherven) worden gevormd door de kracht van de explosie op het moment van de detonatie. De fragmenten van een springkop met voorgevormde fragmenten zijn in een regelmatig patroon om de omtrek van de springstof gerangschikt en blijven na het detoneren van de springkop intact. De schade van voorgevormde fragmenten is anders dan die van natuurlijke en gecontroleerde fragmentatie en zeer onderscheidend in de zin dat de voorgevormde fragmenten een regelmatig patroon van fragmentinslagen op het doel achterlaten. Deze regelmatige inslagen zijn waargenomen op de wrakstukken van de cockpit. Het type schade dat is waargenomen op de wrakstukken van de cockpit van vlucht MH17 komt overeen met het type schade dat wordt veroorzaakt door de springkop met voorgevormde fragmenten van de 9M38(M1) raket.

6.11 Vlindervormige fragmenten

In de wrakstukken van vlucht MH17 zijn diverse niet-vliegtuig eigen fragmenten gevonden waarvan is beoordeeld dat deze de hoogenergetische objecten, of delen van de hoogenergetische objecten zijn, die het vliegtuig van buitenaf hebben doorboord. Een aantal van deze fragmenten, die zijn gevonden in de cockpit, hebben een uitgesproken vlindervorm, zoals te zien is in Figuur 46. Deze fragmenten werden herkend als één van de drie typen voorgevormde fragmenten die gebruikt worden in de 9N314M springkop van de 9M38 en de 9M38M1 raket. Figuur 47 toont deze vlindervormige fragmenten in een inerte 9N314M springkop. Rekening houdend met de vervorming en slijtage door de explosie en inslag, komen de vlindervormige fragmenten gevonden in de wrakstukken van vlucht MH17, qua vorm, grootte en gewicht overeen met de voorgevormde fragmenten van de 9N314M springkop.



Figuur 46: Vliedervormig fragment gevonden in de wrakstukken van de cockpit, grootte in mm (Bron: OVV)



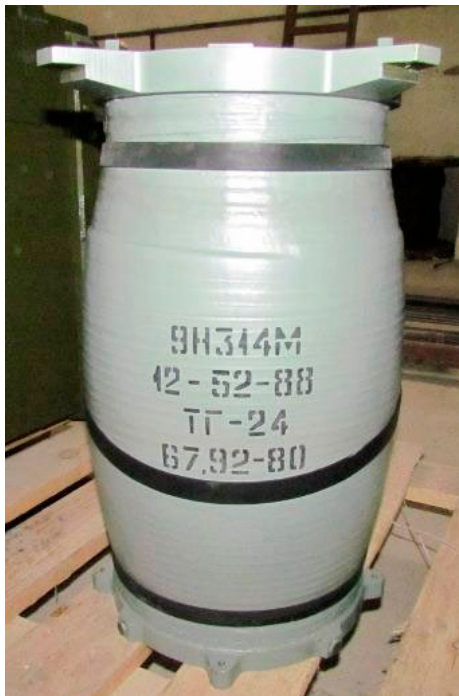
Figuur 47: Fragmenten van een inerte 9N314M springkop (Bron: photo.quip.ru)

6.12 Aantal treffers en dichtheid

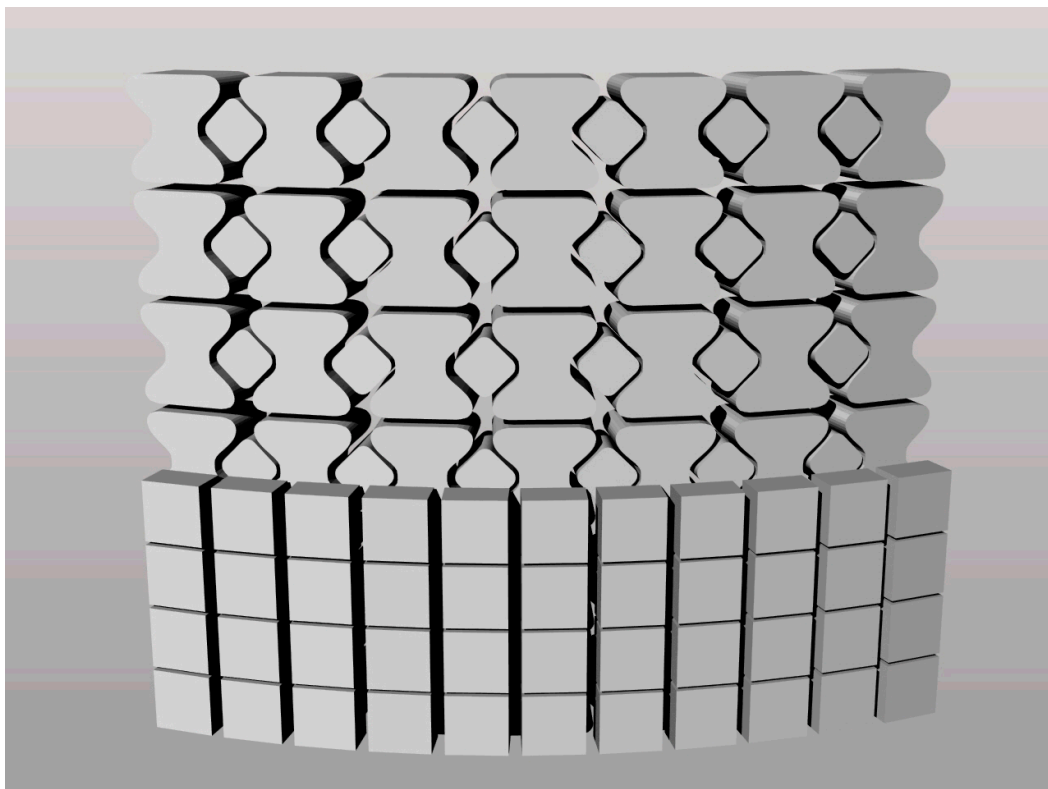
De 9N314M springkop bestaat uit ongeveer 7800 voorgevormde fragmenten van drie verschillende vormen, gerangschikt in twee lagen. Zie Figuur 48 en Figuur 49 voor afbeeldingen van een 9N314M springkop. Een digitale reconstructie van de rangschikking van de fragmenten in de 9N314M springkop is te zien in Figuur 50. De binnenste laag bestaat uit vlindervormige fragmenten en de zogenoemde vuller (*filler*) fragmenten en strekt zich uit over de gehele lengte van de springkop. De buitenste laag bestaat uit vierkante fragmenten en strekt zich uit over ongeveer driekwart van de lengte van de springkop, zoals te zien is aan de verandering in diameter aan de bovenkant in Figuur 49. Het aantal en de dichtheid van de treffers op de wrakstukken van de cockpit komt overeen met het aantal en de dichtheid van de treffers die verwacht kan worden bij de detonatie van een 9N314M springkop.



Figuur 48: Fragmentlagen in een inerte 9N314M springkop (Bron: photo.quip.ru)



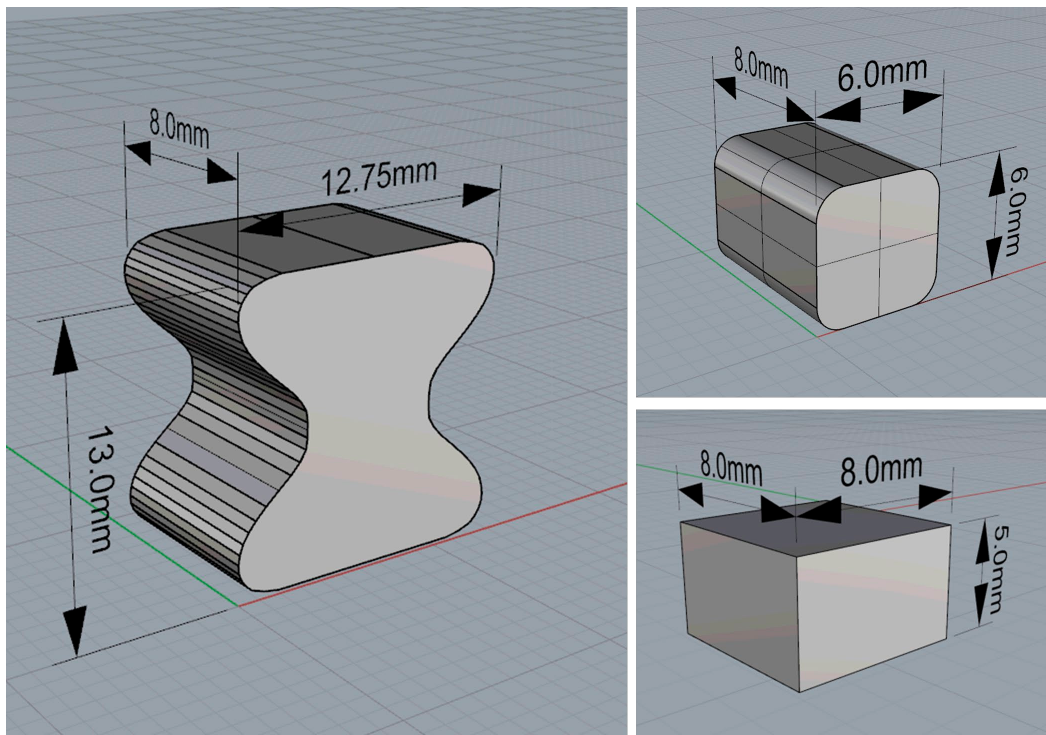
Figuur 49: 9N314M springkop (Bron: Almaz-Antey)



Figuur 50: Digitale reconstructie van de rangschikking van fragmenten in een BUK-springkop (Bron: AAIB)

6.13 Fragment afmetingen

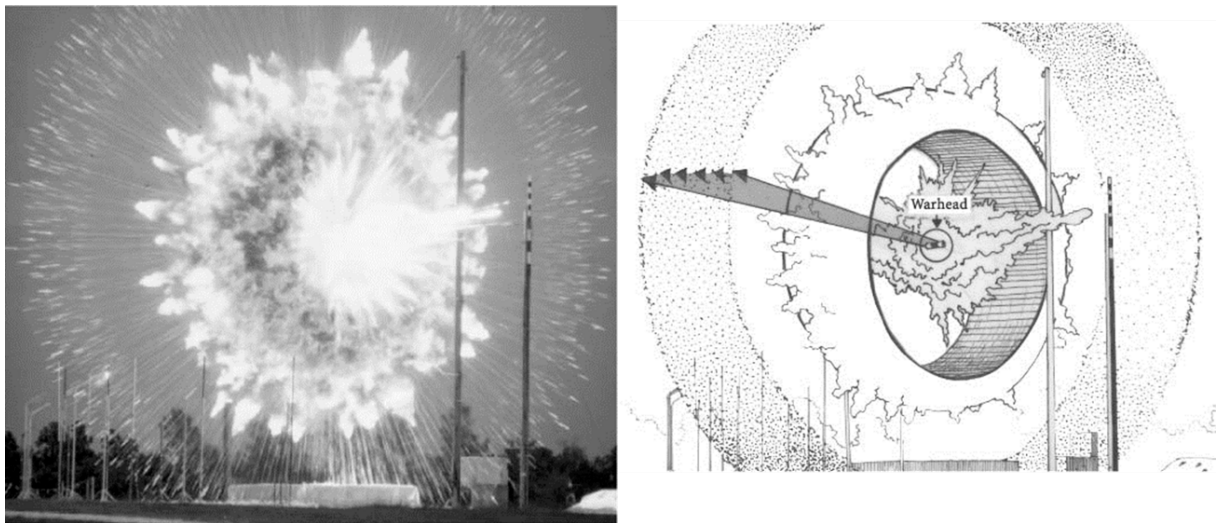
In paragraaf 2.6 werd geconstateerd dat de grootte van de doorboringschade tussen de 6 en 14 mm lag. In Figuur 51 zijn de afmetingen van de vliedervormige, vuller en vierkante fragmenten van de 9N314M springkop te vinden. Vergelijking toont aan dat de afmetingen van de fragmenten van de 9N314M springkop overeen komen met de afmetingen van de inslagschade op de wrakstukken van de cockpit.



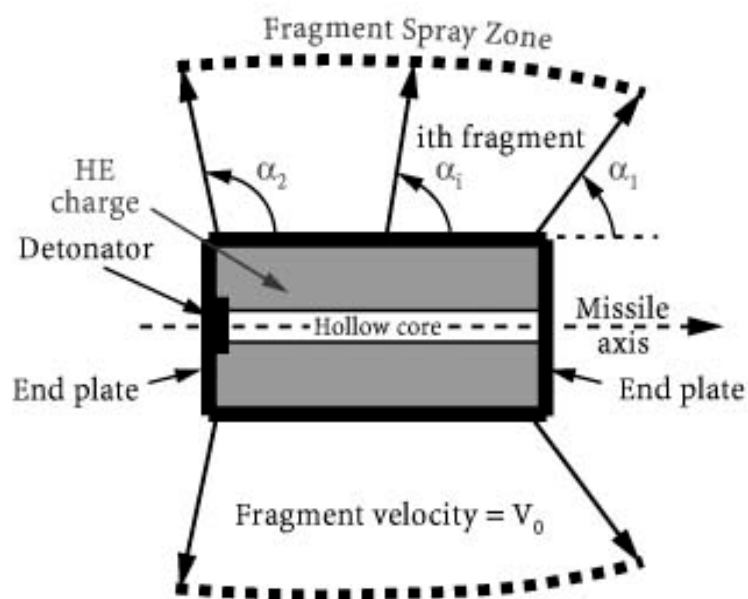
Figuur 51: Afmetingen van de vliedervormige (links), vuller (rechtsboven) en vierkante (rechtsonder) fragmenten (Bron: AAIB)

6.14 Statische springkop model

In een springkop met voorgevormde fragmenten worden de afzonderlijke fragmenten door de schokgolf van de explosie uitgeworpen en verspreiden zich van het detonatiepunt in een expanderende ring. Figuur 52 toont een voorbeeld van het fragmentatiepatroon van een stationaire, horizontale detonatie van een fragmentatie springkop met hoog-explosieve (*high-explosive*) lading. Dit fragmentatiepatroon vormt een begrensd fragment verspreidingsgebied zoals te zien is in Figuur 53. De grenzen van het statische fragment verspreidingsgebied worden bepaald door de hoek α_1 ten opzichte van de langsas van de raket (springkop) van het voorste fragment en de hoek α_2 van het achterste fragment. Met behulp van een wiskundig model van de 9N314M springkop werden deze hoeken en de initiële fragmentsnelheden V_0 door TNO berekend [3].



Figuur 52: Fragmentatiepatroon van een stationaire, horizontale detonatie van een fragmentatie springkop met hoog-explosieve lading (Bron: *The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design*, Robert E. Ball)

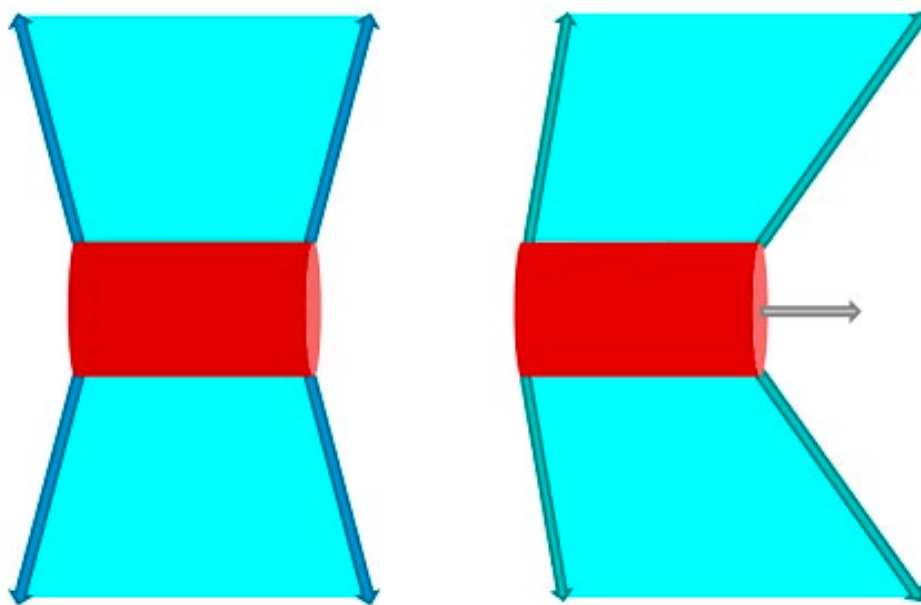


Case length = L . Case outer diameter = D . Case thickness = h

Figuur 53: Fragment verspreidingsgebied van een statische detonatie van een cilindrische springkop (Bron: *The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design*, Robert E. Ball)

6.15 Dynamisch fragmentatiepatroon

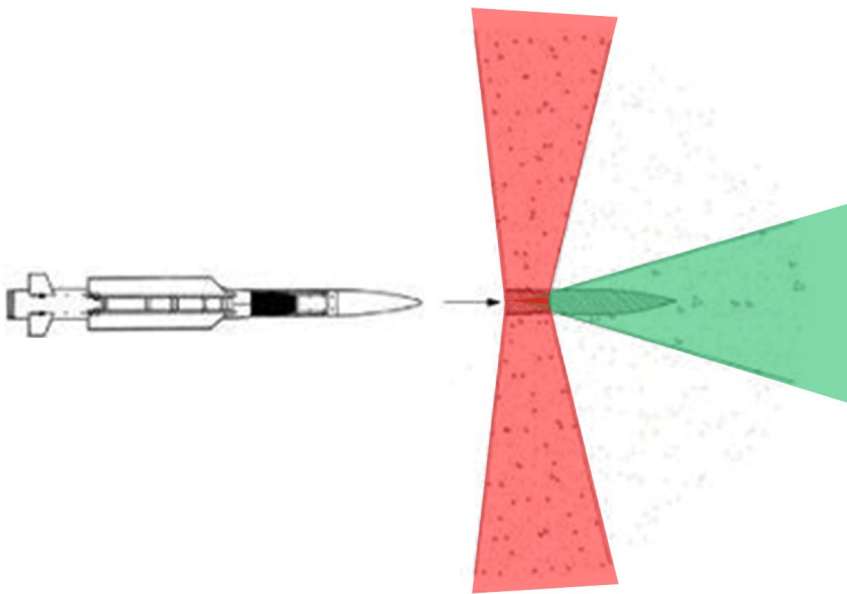
Het fragmentatiepatroon, inclusief het fragment verspreidingsgebied en de in de vorige paragraaf berekende initiële snelheden, geldt uitsluitend voor een stationaire detonatie. Bij een daadwerkelijke onderschepping beweegt de springkop met dezelfde snelheid als de raket. De voorwaartse snelheid van de springkop (en raket) moeten in een vectorsom worden opgeteld bij de oorspronkelijke fragmentsnelheden. Hierdoor wijzigen de hoeken van het fragmentatiepatroon naar voren, zoals te zien is in de rechterkant van Figuur 54.



Figuur 54: Verandering in fragmentatiepatroon vanwege de voorwaartse snelheid van de springkop

6.16 Primaire en secundaire en fragmentatiepatroon

Het fragmentatiepatroon beschreven in de voorgaande paragrafen, wordt het primaire of hoofdfragmentatiepatroon genoemd. Alle voorgevormde fragmenten (vlindervormig, vuller en vierkant) die de hoogenergetische objecten zullen worden, bevinden zich in het fragment verspreidingsgebied dat gedefinieerd wordt door dit primaire fragmentatiepatroon. De springkop bevindt zich echter niet helemaal voor in de raket. Vóór de springkop bevinden zich de geleidings, elektronica, nabijheidsontsteker en zoekkop secties. Bij detonatie van de springkop desintegreren deze secties en vormen een secundair fragmentatiepatroon dat naar voren beweegt in de vliegrichting van de raket in een kegelvorm, aangegeven in groen in Figuur 55.



Figuur 55: Primair (rood) en secundair (groen) fragmentatiepatroon (Bron: verkkomedia.org)

6.17 Matchen van gemodelleerde en waargenomen fragmentatieschade

Met behulp van het dynamische primaire fragmentatiepatroon, berekend in de voorgaande paragrafen, de bekende snelheid van vlucht MH17 en een 3D-model van de Boeing 777, werd een simulatiemodel gemaakt van de locatie, de inslaghoeken en de grenzen van de primaire fragmentatie op de romp van de Boeing 777. Licht werd gebruikt om het gebied van de romp te visualiseren dat werd blootgesteld aan het dynamische primaire fragment verspreidingsgebied van de springkop. Dit Fragmentatie Visualisatie Model werd gebruikt om het berekende fragment verspreidingsgebied van de springkop qua locatie, grens en inslaghoek te matchen met de waargenomen schade van hoogenergetische objecten op de cockpit, zoals beschreven in Hoofdstuk 2.

De beste match werd bereikt voor een detonatiepunt van de springkop op 0,25 meter voor de neus van het vliegtuig, 3 meter naar links en 3,7 meter boven de tip van de neus. De raket vloog met een snelheid van ongeveer 700 meter per seconde in een richting tegengesteld aan de vliegrichting van het vliegtuig, naderend onder een hoek van 7 graden van onderen en 20 graden van rechts, ten opzichte van de langsas (lengteas) van het vliegtuig.

Gebruik makend van het detonatiepunt van de springkop met deze locatie, snelheid en oriëntatie (hoeken), komt het Fragmentatie Visualisatie Model overeen met de schade zoals die is waargenomen op de wrakstukken van vlucht MH17.

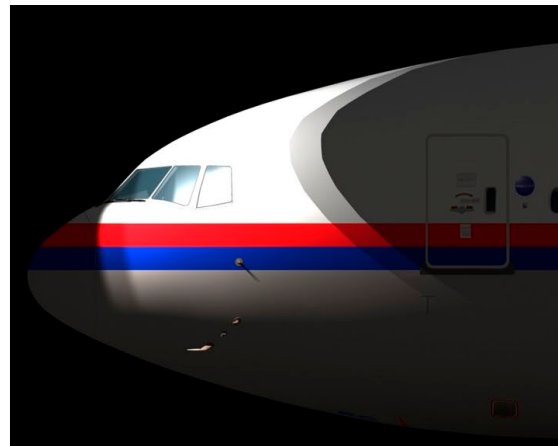
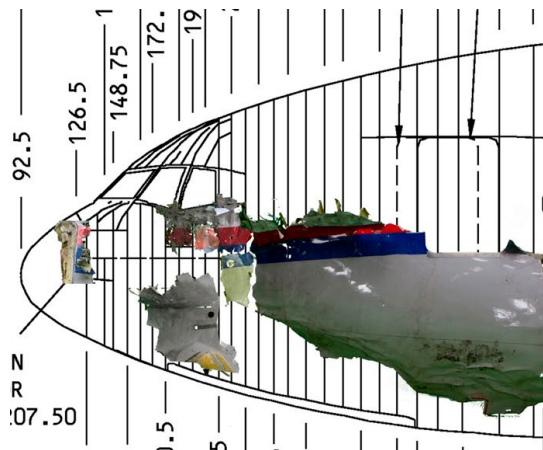
Voorbeelden zijn:

- De grens en de hoek van de inslagen van schampende hoogenergetische objecten op het dak van de cockpit (Figuur 56).
- De grens en de hoek van de inslagen van schampende hoogenergetische objecten op de linkerkant van de cockpit (Figuur 57).
- De grens van de inslagen van hoogenergetische objecten op de voorruit, aan de kant van de gezagvoerder (linkerkant) en het gebied met de hoogste dichtheid van treffers rond het middelste cockpitraam aan de linkerkant (Figuur 58).
- Het niet-getroffen gebied van de cockpit aan de rechterkant (Figuur 59).

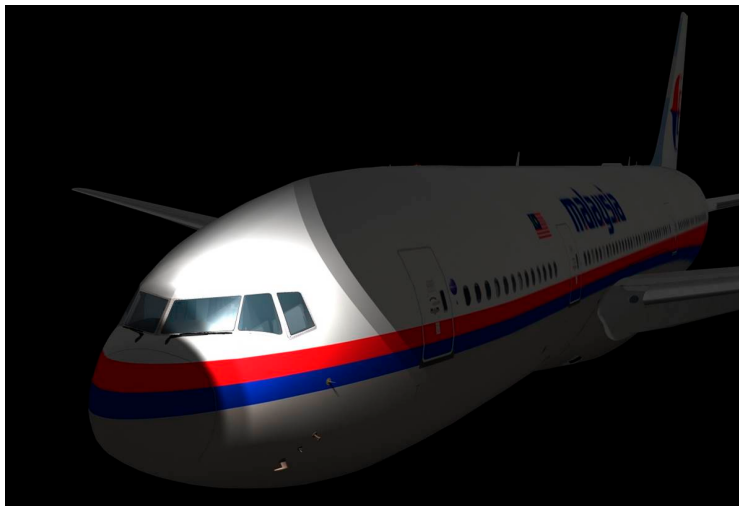
De grens en hoeken van de schade op de wrakstukken van de cockpit van vlucht MH17 komen overeen met het primaire fragmentatiepatroon van de 9N314M springkop.



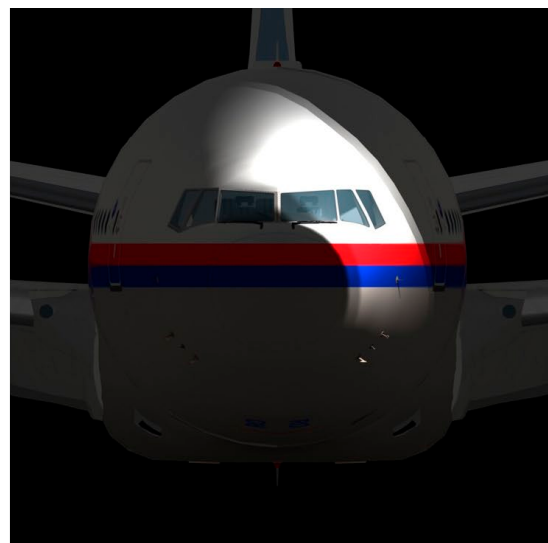
Figuur 56: Match van inslagen van de hoogenergetische objecten op het cockpit-dak



Figuur 57: Match van inslagen van de hoogenergetische objecten aan de linkerkant van de cockpit



Figuur 58: Perspectiefaanzicht van de beste match van het Fragmentatie Visualisatie Model



Figuur 59: Match van inslagen van de hoogenergetische objecten, vooraanzicht

6.18 Kinematische Fragment Verspreidingspatroon Simulatie

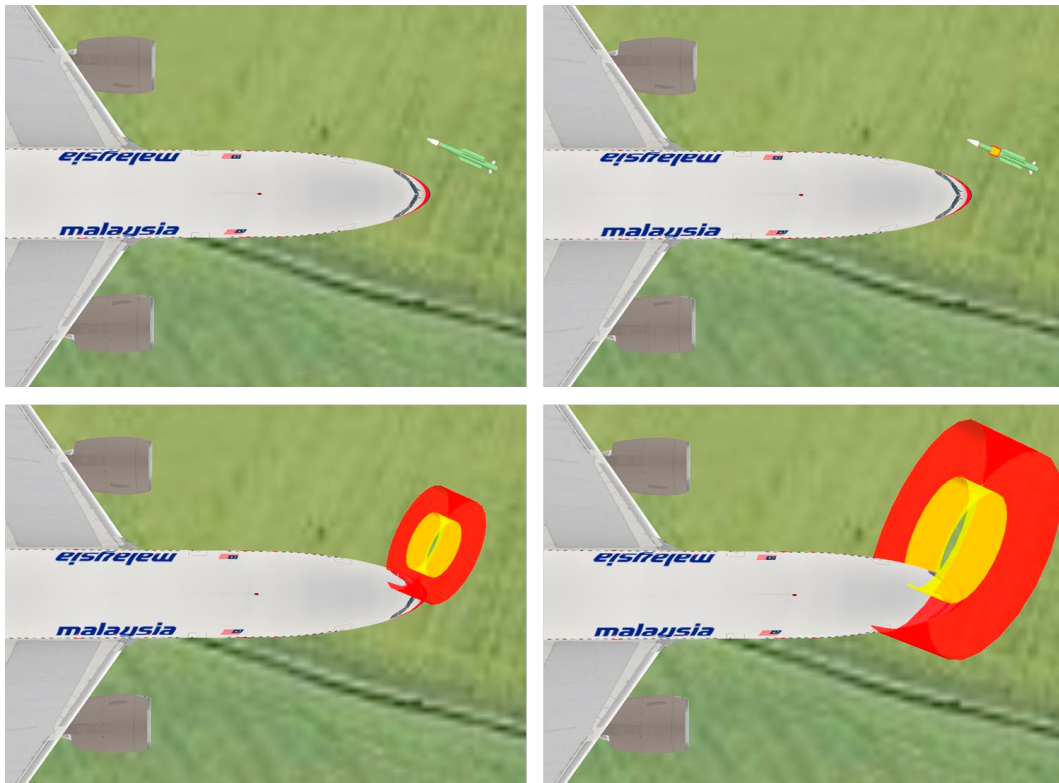
Gebruik makend van de initiële fragmentsnelheden en aerodynamische berekeningen zijn de vertraging door luchtweerstand van de verschillende fragmenten gemodelleerd en berekend. De resultaten van deze berekeningen zijn gebruikt om een kinematische simulatie van het fragment verspreidingsgebied uit te voeren. Deze simulatie omvat raketsnelheid, snelheid van de Boeing 777, primaire fragmentsnelheden en vertraging van de fragmenten en is gebruikt om de resultaten verkregen uit het Fragmentatie Visualisatie Model te valideren. De locatie, oriëntatie en snelheid van de springkop ten tijde van de detonatie bepaald met het Fragmentatie Visualisatie Model kon worden gevalideerd met deze Kinematische Fragment Verspreidingspatroon Simulatie.

Om deze resultaten te visualiseren zijn slow-motion filmpjes van de simulatie gemaakt. Figuur 60 toont verschillende frames van deze simulatie van bovenaf gezien. De rode cilinder vertegenwoordigt de grens van de snelste fragmenten en de gele cilinder de grens van de langzaamste. De wolk met de zich verspreidende fragmenten heeft een complexe vorm en bevindt zich tussen deze twee cilinders.

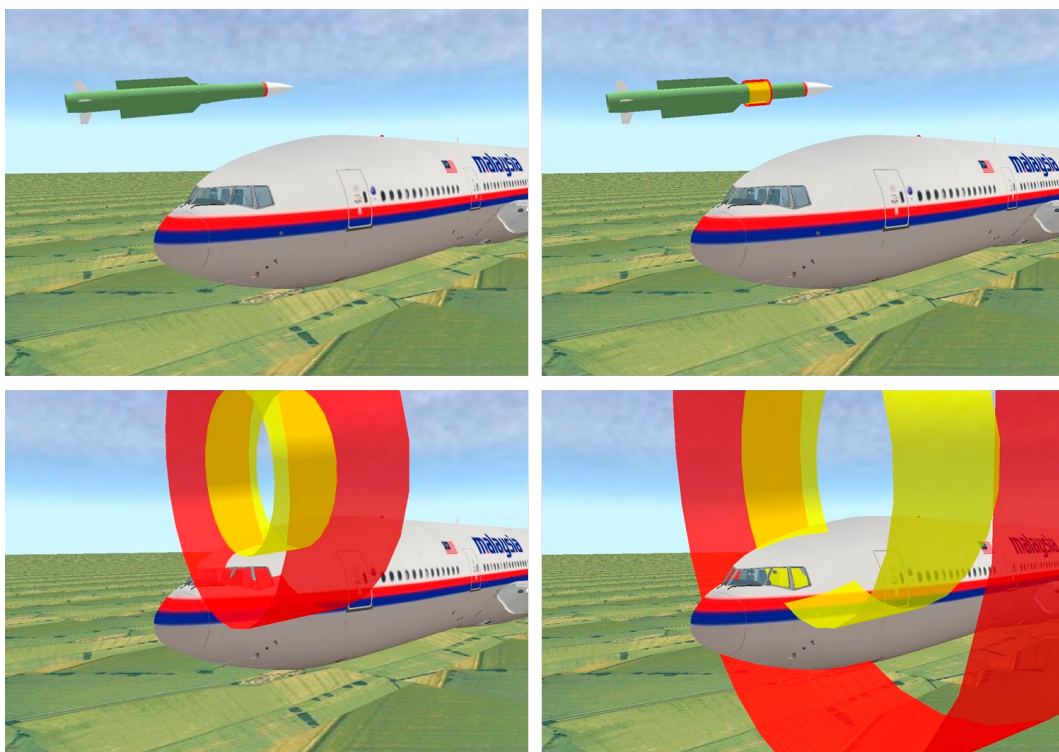
Bij de detonatie desintegreert de raket en vormt het secundaire fragmentatiepatroon zoals beschreven in paragraaf 6.16. Door de raketbaan te extrapoleren in de Kinematische Fragment Verspreidingspatroon Simulatie is te zien dat de secundaire fragmentatie veroorzaakt door deze desintegratie, zoals te zien is in Figuur 55, zich in de richting van de linker motor beweegt. Deze secundaire fragmentatieschade komt overeen met de schade die is waargenomen op de voorste ring van de linker motorgondel, zoals te zien is in paragraaf 2.11. Het is ingeschat dat de secundaire fragmentatieschade aan de linker vleugeltip is veroorzaakt door een groter raketfragment dat de bovenkant van de vleugeltip heeft geschampt.

Figuur 61 toont enkele frames van het slow-motion filmpje met een perspectiefaanzicht van de linkerkant. De locatie en de grenzen waar de fragmenten op de romp inslaan komen overeen met de waargenomen schade zoals beschreven in paragraaf 2.9.

Onderzoek naar de inslagschade op de wrakstukken van vlucht MH17



Figuur 60: Kinematische Fragment Verspreidingspatroon Simulatie met de grenzen van de snelste (rood) en de langzaamste (geel) fragmenten, van bovenaf gezien



Figuur 61: Kinematische Fragment Verspreidingspatroon Simulatie met de grenzen van de snelste (rood) en de langzaamste (geel) fragmenten, perspectiefaanzicht

6.19 Raketbaan simulatie

De geavanceerde, zes graden van vrijheid raketbaan simulatie WEST (*Weapon Engagement Simulation Tool*) werd gebruikt om te beoordelen of de raket eindsnelheid en oriëntatie (hoeken), behorende bij de beste match met de schade uit de voorgaande paragrafen, bereikt konden worden bij een onderschepping van vlucht MH17 door de 9M38(M1) raket. Deze simulatie is gebaseerd op een gevalideerd aerodynamisch model van de raket, een raketmotor stuwkrachtsprofiel model, en modellen van de radarzoeker, logica van de raketgeleiding en autopiloot. Op basis van deze simulatie kunnen de raketbaan en de kinematische prestatie nauwkeurig worden berekend. Figuur 62 toont twee frames van deze raketbaan simulatie.



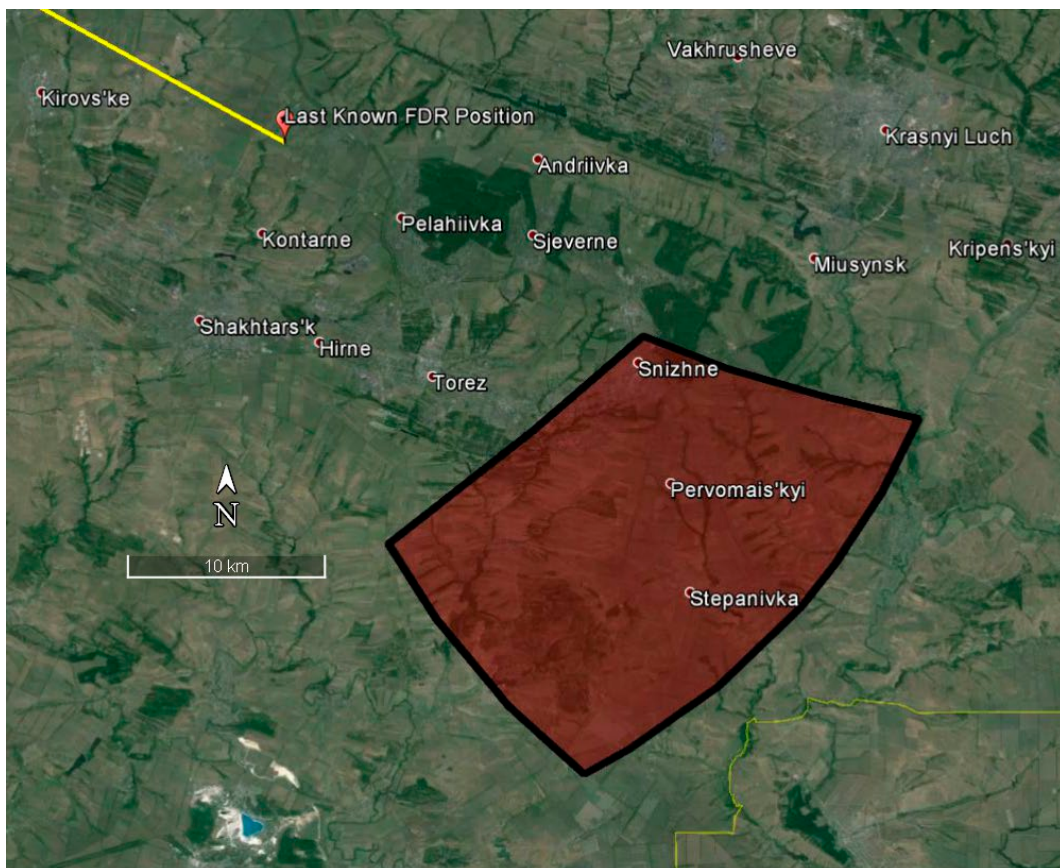
Figuur 62: Raketbaan simulatie

6.20 Lanceergebied van de raket

Het gebied van waaruit de raket werd gelanceerd is berekend met behulp van de door het NLR uitgevoerde schade matching onderzoek en de uit de Flight Data Recorder (FDR) laatst bekende positie van vlucht MH17. Met het schade matching onderzoek zijn de eindcondities van de raket (oriëntatie en snelheid op het moment van detonatie) bepaald, die horen bij de beste match met de schade op de wrakstukken. Gebruik makend van de raket simulatie software WEST werd een groot aantal raketlanceringsgesimuleerd vanaf een raster van lanceerlocaties op de grond. Op iedere lanceerlocatie werden de raketlanceringshoeken in het horizontale en verticale vlak gevarieerd om het verschil tussen de gesimuleerde eindcondities van de raket en die behorende bij de beste schade match te minimaliseren.

Om rekening te houden met een aantal onzekerheden in de prestaties en de geleiding van het wapen werd een gebied van oriëntatie hoeken en snelheden rondom de eindcondities van de beste match gedefinieerd. De lanceerlocaties

waarbij de gesimuleerde eindcondities nog binnen dit bereik vallen vormen samen het mogelijke lanceergebied. Dit betekent dat een raket die vanuit dit gebied wordt gelanceerd het schadepatroon dat op de wrakstukken is te zien kan veroorzaken. Dit lanceergebied wordt bepaald door de kinematische eigenschappen van de raket, de aerodynamica en de limieten van de zoeker, en is onafhankelijk van het lanceerplatform. Figuur 63 toont dit berekende lanceergebied van de raket op de kaart samen met de gevlogene route en laatst bekende FDR-positie van vlucht MH17.



Figuur 63: Berekende lanceergebied van de raket (Bron: Google earth, CNES/Astrium, US Dept of State Geographer, DigitalGlobe)

6.21 Conclusie grond-lucht raket scenario

Gebaseerd op de waargenomen schade aan de wrakstukken van vlucht MH17 en de mogelijkheden van het BUK raketsysteem, kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Het BUK raketsysteem is in staat om een Boeing 777 te raken, die vliegt met de vliegsnelheid en op de hoogte waarop vlucht MH17 vloog.
- De locatie van de schade op de wrakstukken komt overeen met de effecten van een detonatiepunt van de springkop geïnitieerd door de nabijheidsontsteker van de 9M38(M1) raket.
- De hoeveelheid schade aan de wrakstukken is consistent met een relatief grote springkop, zoals de 70 kg 9N314M springkop.
- Het type schade dat is waargenomen op de wrakstukken van de cockpit komt overeen met het type schade dat wordt veroorzaakt door de primaire fragmentatie van de 9N314M springkop met voorgevormde fragmenten.
- De grens en inslaghoeken van de schade aan de wrakstukken van de cockpit zijn consistent met het primaire fragment verspreidingspatroon van de 9N314M springkop die linksboven de cockpit tot ontploffing komt.
- Het aantal en de dichtheid van de treffers op de wrakstukken van de cockpit komen overeen met het aantal en de dichtheid van treffers die verwacht kunnen worden bij de detonatie van een 9N314M springkop.
- De grootte van de doorboringsschade aan de wrakstukken van de cockpit komt overeen met de grootte van de fragmenten van de 9N314M springkop.
- De schade aan de ring van de linker motorgondel en de linker vleugeltip is consistent met het secundaire fragmentatiepatroon van de 9M38(M1) raket.
- De vliedervormige fragmenten die zijn gevonden in de wrakstukken van de cockpit komen overeen met de vliedervormige fragmenten die uniek zijn voor de 9N314M springkop.
- De richting van zowel de primaire als de secundaire schade aan de wrakstukken is consistent met de raket oriëntatie en eindsnelheid verkregen door de lancering van een 9M38(M1) BUK raket gelanceerd vanuit een lanceergebied in het oosten van Oekraïne.

Op basis van bovenstaande punten kan worden geconcludeerd dat de schade die is waargenomen aan de wrakstukken van vlucht MH17 is veroorzaakt door de 9N314M springkop van de 9M38(M1) BUK grond-lucht raket, gelanceerd vanuit een lanceergebied in het oosten van Oekraïne.

7 Samenvatting van de bevindingen

De inslagschade als gevolg van hoogenergetische objecten op de wrakstukken van vlucht MH17 werd onderzocht. Dit onderzoek leidde tot de volgende conclusies:

Schadeonderzoek

- De inslagschade toont aan dat het vliegtuig werd geraakt door kleine objecten die het vliegtuig met een hoge snelheid van buitenaf doorboorden.
- De wrakstukken van de cockpit telden meer dan 350 treffers en naar schatting is de cockpit in totaal door meer dan 800 fragmenten geraakt als rekening wordt gehouden met delen van de constructie van de cockpit die niet beschikbaar waren.
- De oorsprong, dichtheid, locatie, grens en richting van de schade toont aan dat de objecten vanaf één gebied buiten het vliegtuig, linksboven de cockpit kwamen.
- De schade aan de voorste ring van de linker motorgondel en de linker vleugeltip toont aan dat deze onderdelen werden geraakt door voorwerpen met een globale bewegingsrichting van voor naar achter.
- De *pitting* (putvorming) die op de wrakstukken van de cockpit werd waargenomen, wijst op een ontploffing in de nabijheid van de cockpit.
- De grootte van de doorboringsschade is een aanwijzing dat de objecten die de schade aan de cockpit hebben veroorzaakt, een grootte tussen de 6 en de 14 mm hadden.
- De grootte van de doorboringsschade in de ring van de linker motorgondel is een aanwijzing dat de objecten die deze schade hebben veroorzaakt, een grootte tussen de 1 en de 200 mm hadden.
- De regelmaat van de treffers is een aanwijzing dat de schade is veroorzaakt door een springkop met voorgevormde fragmenten.
- De fragmenten die in de wrakstukken van de cockpit zijn gevonden tonen aan dat één type fragment van de springkop een kenmerkende vlindervorm had.

Op basis van bovenstaande punten kan worden geconcludeerd dat de inslagschade op de wrakstukken van vlucht MH17 is veroorzaakt door een springkop met diverse typen voorgevormde fragmenten in de ordegrootte van 6 tot 14 mm, waarbij ten minste één type een vlindervorm had, en waarbij de springkop linksboven de cockpit tot ontploffing is gekomen.

Boordkanon scenario

De schade die is waargenomen aan de wrakstukken komt niet overeen met de schade die wordt veroorzaakt door een boordkanon wat betreft het aantal treffers, de dichtheid van de treffers, de richting van de projectielbanen, en het type schade. De inslagschade op de wrakstukken van vlucht MH17 is daarom niet veroorzaakt door een boordkanon van een gevechtsvliegtuig.

Lucht-lucht raket scenario

De schade die is waargenomen aan de wrakstukken komt niet overeen met de schade die wordt veroorzaakt door de springkop van het type R-60 lucht-lucht raket wat betreft de hoeveelheid schade, type schade en gebruikte materialen. De schade die is waargenomen aan de wrakstukken komt niet overeen met de schade die wordt veroorzaakt door de springkoppen met metalen staven die door de meeste lucht-lucht raketten worden gebruikt. De fragmenten van de fragmentatiespringkoppen die door andere lucht-lucht raketten worden gebruikt zijn niet consistent met de vlindervormige fragmenten die zijn gevonden in de wrakstukken. De inslagschade op de wrakstukken van vlucht MH17 is daarom niet veroorzaakt door een lucht-lucht raket.

Grond-lucht raket scenario

Gebaseerd op de waargenomen schade aan de wrakstukken van vlucht MH17 en de mogelijkheden van het BUK raketsysteem, kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Het BUK raketsysteem is in staat om een Boeing 777 te raken, die vliegt met de vliegsnelheid en op de hoogte waarop vlucht MH17 vloog.
- De locatie van de schade op de wrakstukken komt overeen met de effecten van een detonatiepunt van de springkop geïnitieerd door de nabijheidsontsteker van de 9M38(M1) raket.
- De hoeveelheid schade aan de wrakstukken is consistent met een relatief grote springkop, zoals de 70 kg 9N314M springkop.
- Het type schade dat is waargenomen op de wrakstukken van de cockpit komt overeen met het type schade dat wordt veroorzaakt door de primaire fragmentatie van de 9N314M springkop met voorgevormde fragmenten.
- De grens en inslaghoeken van de schade aan de wrakstukken van de cockpit zijn consistent met het primaire fragment verspreidingspatroon van de 9N314M springkop die linksboven de cockpit tot ontploffing komt.
- Het aantal en de dichtheid van de treffers op de wrakstukken van de cockpit komen overeen met het aantal en de dichtheid van treffers die verwacht kunnen worden bij de detonatie van een 9N314M springkop.

- De grootte van de doorboringsschade aan de wrakstukken van de cockpit komt overeen met de grootte van de fragmenten van de 9N314M springkop.
- De schade aan de ring van de linker motorgondel en de linker vleugeltip is consistent met het secundaire fragmentatiepatroon van de 9M38(M1) raket.
- De vlindervormige fragmenten die zijn gevonden in de wrakstukken van de cockpit komen overeen met de vlindervormige fragmenten die uniek zijn voor de 9N314M springkop.
- De richting van zowel de primaire als de secundaire schade aan de wrakstukken is consistent met de raket oriëntatie en eindsnelheid verkregen door de lancering van een 9M38(M1) BUK raket gelanceerd vanuit een lanceergebied in het oosten van Oekraïne.

Op basis van bovenstaande punten kan worden geconcludeerd dat de schade die is waargenomen aan de wrakstukken van vlucht MH17 is veroorzaakt door de 9N314M springkop van de 9M38(M1) BUK grond-lucht raket, gelanceerd vanuit een lanceergebied in het oosten van Oekraïne.

8 Referenties

-
1. Robert E. Ball, *The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design*, Second Edition, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2003.

 2. Onderzoeksraad voor Veiligheid, *Rapport van eerste bevindingen Crash van Malaysia Airlines Boeing 777-200 vlucht MH17*, Den Haag, September 2014.

 3. TNO, TNO 2015 M11093, *Reconstructie van het schadebeeld door inslag van hoog energetische deeltjes op Malaysia Airlines vlucht MH17*, Rijswijk, Augustus 2015.

 4. Almaz-Antey, *Materials on the characteristics of the BUK missiles requested by the NLR experts*, Moskou, 29 juli 2015.
-

Deze pagina is opzettelijk blanco.

WAT IS HET NLR?

Het NLR is de Nederlandse organisatie voor het identificeren, ontwikkelen en toepasbaar maken van hoogwaardige technologische kennis op het gebied van lucht- en ruimtevaart. De activiteiten van het NLR zijn maatschappelijk relevant, marktgericht en worden zonder winstoogmerk uitgevoerd. Hiermee versterkt het NLR het innovatieve en slagvaardig karakter van de overheid en bevordert het NLR het innoverende en concurrerend vermogen van het bedrijfsleven.

Het NLR kenmerkt zich door toonaangevende deskundigheid, professioneel optreden en onafhankelijke advisering. Medewerkers zijn goed opgeleid, werken klantgericht en werken voortdurend aan de ontwikkeling van hun competenties. Om zijn taken te verrichten houdt het NLR hoogwaardige faciliteiten beschikbaar



www.nlir.nl