

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA LOGISTIKO

Matjaž Kovač

**MINSKA ZAŠČITA VOJAŠKIH
LOGISTIČNIH VOZIL**

magistrsko delo

Celje, avgust 2012

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA LOGISTIKO

Matjaž Kovač

**MINSKA ZAŠČITA VOJAŠKIH
LOGISTIČNIH VOZIL**

magistrsko delo

Mentor:
red. prof. dr. Iztok Podbregar

Somentor:
pred. Valter Bosotina

Celje, avgust 2012



Univerza v Mariboru

Fakulteta za logistiko

IZJAVA O AVTORSTVU

magistrskega dela

Spodaj podpisan Matjaž Kovač, študent 2. stopnje Logistika sistemov MAG, z vpisno številko 21003617, sem avtor magistrskega dela: Minska zaščita vojaških logističnih vozil.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo rezultat izključno mojega lastnega raziskovalnega dela;
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev oz. avtoric, ki jih uporabljam v magistrskem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili Fakultete za logistiko Univerze v Mariboru;
- sem poskrbel, da so vsa dela in mnenja drugih avtorjev oz. avtoric navedena v seznamu virov, ki je sestavni del magistrskega dela in je zapisan v skladu z navodili Fakultete za logistiko Univerze v Mariboru;
- sem pridobil vsa dovoljenja za uporabo avtorskih del, ki so v celoti prenesena v magistrsko delo in sem to tudi jasno zapisal v magistrskem delu;
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del, bodisi v obliki citata bodisi v obliki skoraj dobesednega parafraziranja bodisi v grafični obliki, s katerim so tuje misli oz. ideje predstavljene kot moje lastne – kaznivo po zakonu (Zakon o avtorskih in sorodnih pravicah, Uradni list RS št. 21/95), prekršek pa podleže tudi ukrepom Fakultete za logistiko Univerze v Mariboru v skladu z njenimi pravili;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo delo in za moj status na Fakulteti za logistiko Univerze v Mariboru;
- je magistrsko delo jezikovno korektno in da je delo lektorirala Katja Valenčič.

V Celju, dne _____

Podpis avtorja: _____

Minska zaščita vojaških logističnih vozil

Načini vojskovanja se vedno bolj spreminjajo, vojskovanje postaja vedno bolj nekonvencionalno. Kljub temu da je velik del sveta podpisal konvencijo o neuporabi pehotnih min, pa je realnost na kriznih žariščih drugačna.

Da bi ustrezno zaščitili vojake pred grožnjami min, so se pojavila vozila z minsko zaščito. Prvotno je bila minska zaščita namenjena vozilom prve bojne linije (tanki, oklepna bojna vozila), z razvojem bojevanj pa se je pojavila vedno večja potreba po zaščiti vseh ostalih vojaških vozil.

Da bi vzpostavili primerljivost med posameznimi zaščitami vozil, so se pojavili standardi, najprej v Južni Afriki in kmalu zatem v NATU, kjer so skušali urediti to relativno mlado področje.

Naloga se bo ukvarjala predvsem z razlogi za vzpostavitev standarda ter njegovimi slabostmi in možnostmi za izboljšavo, s ciljem zmanjšanja števila poškodovanih pri uporabi vojaških vozil.

Ključne besede: logistika, vozila, zaščita, mine

Mine protection of the Military Logistic vehicles

Methods of warfare are increasingly changing; warfare is becoming more and more unconventional. Despite the fact that much of the world countries signed The Mine Ban Treaty, the reality in the crisis areas is opposite, there is more and more use of mines and home-made explosives.

In order to adequately protect troops against mine threats the vehicle mine protection has emerged. Originally only for the front line vehicles (tanks, armoured fighting vehicles), with constant development of warfare, a growing need have emerged for protection of all other military vehicles.

In order to establish some comparability between protections standards have emerged, first in South Africa and soon in NATO, which they tried to make policy in this relatively young field.

The paper will deal primarily with the reasons for the establishment of the standards and their weaknesses and opportunities for improvement with the aim of reducing the number of injured.

Keywords: Logistic, Vehicles, Protection, Mines

KAZALO

UVOD	1
OPREDELITEV IN OPIS PROBLEMA	1
CILJ IN TEZE MAGISTRSKEGA DELA	2
PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE RAZISKAVE	2
PREDVIDENE METODE RAZISKOVANJA	3
1 ZGODOVINSKI VPOGLED V RAZVOJ MIN.....	4
2 MINE.....	6
2.1 VRSTE MIN	6
<i>Protipehotne mine</i>	6
<i>Protitankovske mine</i>	7
<i>Improvizirane eksplozivne naprave (IED)</i>	10
2.2 PRINCIP DELOVANJA MIN.....	11
<i>Zvočni udarni val</i>	13
<i>Širjenje plinov</i>	14
<i>Izmet zemlje</i>	16
2.3 DELOVANJE MIN NA VOZILO	16
<i>Zvočni udarni val</i>	17
<i>Udarne obremenitev</i>	17
<i>Porazdeljena obremenitev</i>	18
2.4 OBREMENITVE NA VOZILO.....	19
<i>Lokalno delovanje</i>	20
<i>Globalno delovanje</i>	20
<i>Vpliv padca vozila</i>	20
<i>Posledični vplivi</i>	21
2.5 OBREMENITVE NA POSADKO	21
3 ZAŠČITA PRED MINAMI.....	24
3.1 RAZDALJA VOZILA OD MINE	24
3.2 GLOBINA VKOPA MINE	25
3.3 ZEMLJA	27
3.4 OBLIKA DNA VOZILA	28
3.5 SISTEM SEDEŽA Z VARNOSTNIMI PASOVI	30
3.6 MATERIALI.....	33
4 TESTIRANJE VOZIL.....	36
4.1 STANDARDI.....	39
<i>RSA-MIL-STD-37</i>	39

<i>NATO STANAG 4569</i>	42
<i>AEP-55 vol. II</i>	45
<i>AEP-55 vol. III</i>	45
5 AEP-55 VOL. II	47
5.1 POSTOPEK IN POGOJI TESTIRANJ	47
<i>Postopek testiranja</i>	48
<i>Pogoji testiranja</i>	49
5.2 KRITERIJI USPEŠNOSTI.....	49
<i>Preboj školjke vozila</i>	50
<i>Sile na testno lutko</i>	50
<i>Sekundarne poškodbe</i>	52
5.3 KRITERIJI POŠKODB IN TOLERANČNI NIVOJI.....	53
<i>Poškodbeni kriterij glave (HIC)</i>	54
<i>Poškodbeni kriterij vratu</i>	57
<i>Poškodbeni kriterij hrbtenice (DRIZ Model)</i>	61
<i>Poškodbe notranjih organov</i>	62
<i>Poškodbe spodnjih udov</i>	67
6 NACIONALNA AVTORITETA	72
6.1 POSTOPEK IZVEDBE TESTA	72
6.2 DOLOČITEV TESTNE KONFIGURACIJE VOZILA	73
6.3 DEFINICIJA GROŽNJE	74
6.4 OCENA POŠKODB.....	76
7 PRIMERJAVE IN VPLIVI NA STANDARD	78
ZAKLJUČEK	83
RELEVANTNOST MAGISTRSKEGA DELA	83
MOŽNOST NADALJNJEGA RAZVOJA	84
LITERATURA IN VIRI	87

KAZALO SLIK

Slika 1: Protipehotna mina PMA 2 (izvor JNA).....	7
Slika 2: Protitankovska mina (izvor JNA).....	8
Slika 3: Eksplozija 6,5 kg protitankovske mine pod tovornim vozilom.....	8
Slika 4: Učinek eksplozije 6,5 kg protitankovske mine pod tovornim vozilom.....	9
Slika 5: Sestavni deli IED naprav	11
Slika 6: Časovni razvoj eksplozije mine.....	12
Slika 7: Izmet in fragmenti, ki nastanejo po eksploziji.....	13
Slika 8: Padec tlaka zvočnega udarnega vala v odvisnosti od razdalje	14
Slika 9: Širjenje plinov in izmet zemlje ob eksploziji mine	15
Slika 10: Primer stožca uničenja za lahko logistično vozilo	15
Slika 11: Produkti detonacije in izmet zemlje	16
Slika 12: Primerjava med eksplozijo in računalniško simulacijo eksplozije.....	17
Slika 13: Eksplozija 0,5 g naboja zakopanega 18 mm v zemljo.....	18
Slika 14: Proces delovanja mine	19
Slika 15: Mehanizmi poškodb v notranjosti vozila	21
Slika 16: Vpliv višine dna vozila na transfer energije	25
Slika 17: Primerjava eksplozij za tri različne globine vkopa.....	26
Slika 18: Vpliv vlažnosti zemlje na impulz eksplozije.....	27
Slika 19: Primer vozila s trikotnim dnom.....	28
Slika 20: Model za izračun impulza pri poševni plošči	29
Slika 21: Dosežene vertikalne hitrosti v odvisnosti od mase in začetnega impulza.....	30
Slika 22: Potrebno gibanje sedeža za zagotovitev stalnega pospeška 18 G	31
Slika 23: Moderni sedež za težka vojaška vozila	32
Slika 24: Runflat vložek znotraj pnevmatike.....	33
Slika 25: Keramična zaščita.....	34
Slika 26: Moderni kompozitni material	35
Slika 27: Mine in princip delovanja.....	43
Slika 28: Mine in princip delovanja.....	44
Slika 29: Možne smeri napada IED min	46
Slika 30: Vozilo MRAP med izvedbo testa	47
Slika 31: Slika vozila pred in po preboju školjke vozila	50
Slika 32: Testni lutka Hybrid III 50th Male in ES-2er	51

Slika 33: Mesto gasilnega aparata in sil, ki so nastale na testni lutki	53
Slika 34: Wayne State Tolerance Curve	55
Slika 35: Krivulja tveganj poškodb za HIC	56
Slika 36: Obremenitve na vratna vretenca	57
Slika 37: Tolerančna krivulja za kompresijsko obremenitev vrata.....	58
Slika 38: Tolerančna krivulja za strižne obremenitve zgornjega dela vratu.....	59
Slika 39: Tolerančna krivulja za raztezne obremenitve zgornjega dela vratu	59
Slika 40: Krivulja verjetnosti poškodbe hrbtenice.....	62
Slika 41: Matematični model pljuč	63
Slika 42: Kompresija prsnega koša zaradi delovanja varnostnega pasu.....	64
Slika 43: Krivulja poškodb za stisk prsi	65
Slika 44: Krivulja poškodb za prsi.....	66
Slika 45: Krivulja poškodb za zgornji del nog	68
Slika 46: Krivulja poškodb za spodnji del nog	69
Slika 47: Krivulje verjetnosti poškodb za spodnji del nog	70
Slika 48: Del družine vozil Piranha III	73
Slika 49: Pozicija testnih lutk in testne noge pred in po testu	75
Slika 50: Izmerjene sile na testnih nogah	76
Slika 51: Delovanje bočnih sil	85

KAZALO TABEL

Slika 1: Protipehotna mina PMA 2 (izvor JNA).....	7
Slika 2: Protitankovska mina (izvor JNA).....	8
Slika 3: Eksplozija 6,5 kg protitankovske mine pod tovornim vozilom.....	8
Slika 4: Učinek eksplozije 6,5 kg protitankovske mine pod tovornim vozilom.....	9
Slika 5: Sestavni deli IED naprav	11
Slika 6: Časovni razvoj eksplozije mine.....	12
Slika 7: Izmet in fragmenti, ki nastanejo po eksploziji.....	13
Slika 8: Padec tlaka zvočnega udarnega vala v odvisnosti od razdalje	14
Slika 9: Širjenje plinov in izmet zemlje ob eksploziji mine	15
Slika 10: Primer stožca uničenja za lahko logistično vozilo	15
Slika 11: Produkti detonacije in izmet zemlje	16
Slika 12: Primerjava med eksplozijo in računalniško simulacijo eksplozije.....	17

Slika 13: Eksplozija 0,5 g naboja zakopanega 18 mm v zemljo.....	18
Slika 14: Proces delovanja mine	19
Slika 15: Mehanizmi poškodb v notranjosti vozila	21
Slika 16: Vpliv višine dna vozila na transfer energije	25
Slika 17: Primerjava eksplozij za tri različne globine vkopa.....	26
Slika 18: Vpliv vlažnosti zemlje na impulz eksplozije.....	27
Slika 19: Primer vozila s trikotnim dnem	28
Slika 20: Model za izračun impulza pri poševni plošči	29
Slika 21: Dosežene vertikalne hitrosti v odvisnosti od mase in začetnega impulza.....	30
Slika 22: Potrebno gibanje sedeža za zagotovitev stalnega pospeška 18 G	31
Slika 23: Moderni sedež za težka vojaška vozila	32
Slika 24: Runflat vložek znotraj pnevmatike.....	33
Slika 25: Keramična zaščita.....	34
Slika 26: Moderni kompozitni material	35
Slika 27: Mine in princip delovanja.....	43
Slika 28: Mine in princip delovanja.....	44
Slika 29: Možne smeri napada IED min	46
Slika 30: Vozilo MRAP med izvedbo testa	47
Slika 31: Slika vozila pred in po preboju školjke vozila	50
Slika 32: Testni lutka Hybrid III 50th Male in ES-2er	51
Slika 33: Mesto gasilnega aparata in sil, ki so nastale na testni lutki	53
Slika 34: Wayne State Tolerance Curve	55
Slika 35: Krivulja tveganj poškodb za HIC	56
Slika 36: Obremenitve na vratna vretenca	57
Slika 37: Tolerančna krivulja za kompresijsko obremenitev vrata.....	58
Slika 38: Tolerančna krivulja za strižne obremenitve zgornjega dela vratu.....	59
Slika 39: Tolerančna krivulja za raztezne obremenitve zgornjega dela vratu	59
Slika 40: Krivulja verjetnosti poškodbe hrbtenice.....	62
Slika 41: Matematični model pljuč	63
Slika 42: Kompresija prsnega koša zaradi delovanja varnostnega pasu.....	64
Slika 43: Krivulja poškodb za stisk prsi	65
Slika 44: Krivulja poškodb za prsi.....	66
Slika 45: Krivulja poškodb za zgornji del nog	68
Slika 46: Krivulja poškodb za spodnji del nog	69

Slika 47: Krivulje verjetnosti poškodb za spodnji del nog	70
Slika 48: Del družine vozil Piranha III	73
Slika 49: Pozicija testnih lutk in testne noge pred in po testu	75
Slika 50: Izmerjene sile na testnih nogah	76
Slika 51: Delovanje bočnih sil	85

KRATICE

AEP	Allied Engineering Publication (Zavezniška tehnična publikacija)
AIS	Abbreviated Injury Scale (Poškodbeni lestvica)
ATD	Anthropometric Test Devices (Testna lutka v podobi človeka)
C4	Composition C (Kompozit C–eksploziv)
CSIR	Council for Scientific and Industrial Research (Svet za razvoj znanosti in industrije)
DoD	Department Of Defense (Ministrstvo za obrambo)
DRI	Dynamic Response Index (Indeks dinamičnega odgovora)
EFP	Explosively Formed Projectile (Projektil formiran z eksplozijo)
ES-2re	EuroSID-2re ATD (Testna lutka – ES-2re)
Euro NCAP	European New Car Assessment Program (Evropski (novi) program ocenjevanja vozil)
GICHD	Geneva International Centre for Humanitarian Demining (Mednarodni center za humanitarno razminiranje Ženeva)
HBW	Brinell scale (Trdota po Brinellu)
HFM	Human Factors and Medicine Panel (Skupina za medicino in človeški vpliv)
HIC	Head Injury Criterion (Poškodbeni kriterij glave HIC)
IED	Improvised Explosive Device (Improvizirano eksplozivno telo)
JAR	Južnoafriška Republika
JNA	Jugoslovanska ljudska armada
MIL-Lx	MILitary Lower Extrimity (Testne vojaške spodnje okončine)
NATO	North Atlantic Treaty Organisation (Organizacija severnoatlantskega sporazuma)
NFC	No fragment Criterion

	(Kriterij – nobenih fragmentov)
POM	Protioklepna mina
PPM	Protipehotna mina
PTM	Protitankovska mina
RDX	Cyclonite (Ciklonit – eksploziv)
RSA-MIL-STD	Vojaški standard Južnoafriške Republike
RTG	Research Task Group (Raziskovalna delovna skupina)
RTO	Research and Technology Organisation (Organizacija za raziskavo in tehnologijo)
STANAG	NATO Standardization Agreement (NATO sporazum o standardizaciji)
SV	Slovenska vojska
TCC	Thoracic Compression Criterio (Kriterij deformacije prsnega koša)
TNT	TriNitroToluene (eksploziv) (Trotil)
TP	Testna platforma
TTCP	The Technical Cooperation Program (Program tehnične kooperacije)
VC	Viscous Criterion (Kriterij hitrosti deformacije mehkih tkiv)
VE	Vojna enciklopedija
ZDA	Združene države Amerike

UVOD

Oprelitev in opis problema

Logistična vozila za transport vojakov in oskrbo enot na bojišču vozijo po oskrbovalnih poteh. V večini primerov gre za dobro utrjene poti, ki omogočajo veliko hitrost premikanja ter vožnjo tudi najtežjim logističnim vozilom. V klasičnih razmerah bojevanja se oskrbovalne poti nahajajo v zaledju bojevanj ter niso ogrožene s strani sovražnika, vsaj tako je bilo v preteklosti.

Vojni v Iraku in Afganistanu pa sta predstavljali pravi šok na področju logistične oskrbe ter zaščite logističnih vozil. Nasprotnik se je in se še vedno poslužuje gverilskega načina bojevanja, predvsem z uničevanjem logističnih kapacitet. Kot prvi so se kot tarča našli ranljivi logistični konvoji, ki so prenašali opremo iz zalednih baz proti enotam. Zaradi taktike, ki je predvidevala vožnjo po utrjenih cestah so imeli gverilci (uporniki) lahko delo pri določanju mest zased in lokacij postavljanja improviziranih eksplozivnih naprav (ang. Improvised Explosive Device – IED).

Rezultat vse več žrtev in velike materialne škode, ki jo je utrpela koalicija oziroma enote NATA, je bila vgradnja balistične in minske zaščite na logistična vozila. Prvotno so nadgradnjo logističnih vozil naredili na bojišču kar vojaki sami, kasneje pa so različni proizvajalci vojaških vozil pristopili k načrtnemu izdelovanju logističnih vozil, ki imajo vgrajeno tako minsko¹ kot tudi balistično² zaščito. Pojavilo se je ogromno priznanih in manj znanih izdelovalcev zaščite, ki pa so zagotavljali različno raven zaščite.

Različno razumevanje stopnje zaščite vozil med proizvajalci vozil in različnimi vojskami je zahtevalo postavitve jasnih standardov povezanih z zaščito. Tako se v 90. letih pojavi prvi standard minske zaščite v Južni Afriki, kmalu za tem pa tudi v zvezi NATO.

¹ Pod minsko zaščito se podrazumevajo tehnike za zaščito ljudi in vozil pred delovanjem minskih teles, kot so protipehotne in protitankovske mine.

² Pod balistično zaščito se podrazumevajo tehnike za zaščito osebja in opreme pred iztrelki (vseh vrst), kot so zaščitne odeje, neprebojni jopiči za ljudi oziroma oklepne plošče za vozila

Cilj in teze magistrskega dela

Slovenija je z vstopom v zvezo NATO opredelila zahteve pred Slovensko vojsko. Ena od nalog Slovenske vojske je tako postala sprejemanje in delovanje po standardih zveze NATO. Glede na velikost Slovenske vojske in opremo, ki jo ima na razpolago, je jasno, da preverjanje opreme po določenih, predvsem tehničnih standardih v Sloveniji ne bo nikoli fizično izvajano. Namesto tega bomo sprejemali opremo na osnovi certifikatov in testnih poročil proizvajalcev opreme. Seveda pa je potrebno standarde poznati in razumeti, če želimo resnično dobiti zahtevane karakteristike opreme.

Eden od takšnih specifičnih standardov je tudi standard zaščite (tako minske kot balistične) logističnih vozil. Sam standard, čeprav precej jasno napisan, skriva v svojih definicijah precej pasti, ki jih nepoznavalec na prvi pogled ne bo opazil, lahko pa bistveno vplivajo na kakovost končnega izdelka.

Področje zaščite logističnih vozil je obširno in se deli na minsko in balistično zaščito. V nalogi želimo поближе predstaviti minsko zaščito logističnih vozil. Naloga je sestavljena iz dveh delov:

- v prvem delu želimo prikazati principe delovanja protitankovske mine ter vpliv, ki ga ima na vozilo in posadko vozila na eni strani in načine, kako se moderne vojske zaščitijo pred njimi na drugi strani;
- v drugem delu pa bomo predstavili standard, ki opredeljuje zaščito logističnih vozil in njegovo uporabo.

Trenutno v Sloveniji ni literature o zaščiti logističnih vozil, zato je želja, da bi to delo postalo osnova za nadaljnje raziskave in izdelavo bolj obširne ter strokovne literature, ki se bo lahko uporabljala pri nabavi logističnih vozil.

Predpostavke in omejitve raziskave

V magistrskem delu predpostavljamo, da v preteklosti nismo imeli izkušenj z minsko zaščito logističnih vozil, ker je SV nabavljala klasična vojaška logistična vozila. S sodelovanjem v vojaških misijah večje intenzitete pa je potreba po zaščiti logističnih

vozil postala nuja. Pri nabavi omenjenih vozil se tako SV lahko zanaša le na podatke proizvajalcev, saj lastnih izkušenj na tem področju nima, lastni laboratorij oziroma lastna testiranja pa so povezana s stroški, ki za SV niso racionalni.

Omejitev naloge je, da bomo morali uporabiti rezultate testiranj proizvajalcev vojaških logističnih vozil, pri čemer moramo upoštevati, da so ti testi izdelani pod različnimi pogoji in z različnimi odstopanji. Posledično bo potreben dodatni napor, da se pridobljeni podatki pravilno ocenijo in da pridemo do relevantnih primerjav ter rezultatov.

Predvidene metode raziskovanja

V magistrskem delu so uporabljene naslednje metode: metoda analize, metoda sinteze, metoda deskripcije, metoda komparacije, grafična in statistična metoda.

Magistrsko delo v prvih dveh točkah na eni strani temelji na osnovi študija različne literature, pri čemer smo z metodo deskriptivne analize vsebin obdelali in predstavili teoretične vidike in interpretacijo obravnavanih pojmov, na drugi strani pa smo z metodo sinteze sestavili posamezne zaključke iz različnih virov v enotno celoto.

V empiričnem delu pa smo s pomočjo metode deskripcije in kompilacije opisali standard minske zaščite ter s pomočjo primerjalne in grafične metode standard primerjali s podobnim dogodkom, kot je trčenje osebnih vozil oziroma strmoglavljenje letala, ter s pomočjo primerjalne metode ugotovili njihove podrobnosti v obnašanju ter razlike med njimi. V nadaljevanju pa smo s statistično metodo in komparativno metodo izvedli primerjavo zaščite ter predlagali točke za izboljšanje standarda.

1 ZGODOVINSKI VPOGLED V RAZVOJ MIN

Pojem minsko vojskovanje poznamo že iz starega veka. Gre za postopke vojskovanja, kjer so napadalcem utrdbe ter večje fortifikacijske ovire predstavljale veliko oviro pri osvojitvi oziroma pokoritvi nasprotnika. Napadalci so z namenom prodreti v utrdbo oziroma premagati fortifikacijske ovire, izkopali podzemne hodnike (galerije), ki so vodili od njihovih položajev proti notranosti utrdbe, ali pa samo do temeljev utrdbenih zidov (VE, 1973, str. 514).

Od konca 15. stoletja naprej je uvedba smodnika v minsko vojskovanje korenito spremenila taktiko minskega vojskovanja in tehnološko zasnovo min. V tem obdobju je izraz »mina« dobil širši pomen, ki ne pomeni več samo izkop, temveč se razširi na izkop napolnjen s smodnikom (VE, 1973, str. 514). Razvoj takšnega načina vojskovanja je v 17. in 18. stoletju privedel do izgradnje protiminskega sistema v vseh trdnjavah.

Konec 19. stoletja so stopili v uporabo brizantni eksplozivi, ki so pomembno vplivali na razvoj minskih sredstev. Ti so mnogo močnejši od smodnika, poleg tega pa omogočajo učinkovitejše rušenje z manjšo količino polnjenja.

Na začetku 1. svetovne vojne je bilo minsko vojskovanje usmerjeno samo na rušenje objektov, ko pa so se fronte ustalile/umirile, je ponovno oživelo podzemno minsko vojskovanje. Z novimi eksplozivi (trotil) se je rokovalo lažje in varneje (VE, 1973, str. 487).

Med 1. in 2. svetovno vojno je razvoj na področju sredstev za aktiviranje min (vžigalniki, detonatorji, kabli za vžig) in organizacije dela pri miniranju močno napredoval. Pojavile se protioklepne (protitankovske) mine, ki so se množično uporabljale v 2. svetovni vojni (VE, 1973, str. 487).

V 2. svetovni vojni je doživelo minsko vojskovanje popoln razmah. Enote Rdeče armade so pri zaustavljanju nemških oklepnih enot izvajale obsežna rušenja. Postavitev minskih polj je dobila velik pomen leta 1942.

Takoj po 2. svetovni vojni se je delalo predvsem na modernizaciji obstoječih in izdelavi novih tipov min. Najpomembnejšo inovacijo je predstavljala proizvodnja popolno ali delno plastičnih min, katerih ni možno odkriti z detektorjem kovin. Razvoj se je nadaljeval z razvojem različnih vrst vžigalnikov.

Z vojno v Iraku leta 1989 je mogoče opaziti občuten porast uporabe min, ki so bile izdelane iz priročnih sredstev, in sicer iz že omenjenih IED sredstev. Značilnost teh min je izdelava iz priročnih sredstev, kar pomeni, da so iz različnih materialov, različnih oblik in z različnimi prožilci. Posledica tega je bila, da je bilo odkrivanje teh min oteženo in pojavila se je potreba po primerni zaščiti vozil pred to vrsto min.

Grožnje s protitankovskimi minami in IED minami so se v Afganistanu še povečale in postalo je jasno, da je potrebno nujno izboljšati zaščito ne samo bojnih vozil, temveč tudi vojaških logističnih vozil pred nevarnostjo min.

2 MINE

Na splošno lahko mine opredelimo kot vse oblike stacionarnih eksplozivnih polnitev, ki so postavljene pod ali nad površino zemlje oziroma v njeno bližino z namenom, da ob prisotnosti, bližini ali neposrednem kontaktu z osebo ali vozilom eksplodirajo (GICHD, 2010, str. 12).

2.1 Vrste min

Poznamo več vrst kopenskih min: protipehotne mine (PPM), protitankovske oziroma protioklepne mine (PTM oz. POM), mine presenečenja idr. Poleg teh poznamo tudi druga eksplozivna telesa, ki imajo splošen izraz mine npr. podvodne mine, artilerijske mine idr.

Kopenske mine glede na namen delimo na tri skupine (Klemenčič, 2009, str. 33):

- protipehotne (PPM);
- protitankovske (PTM);
- univerzalne.

Protipehotne mine

PPM se uporabljajo s ciljem ubijanja in onesposobljanja žive sile (slika 1). Uporablja se jih za izgradnjo protipehotnih minskih polj ali pa tudi mešanih minskih polj, kjer so poleg PPM uporabljene še PTM (Radić, 2001, str. 31).

Po učinku PPM delimo na:

- PPM, katerih učinek je vezan le na polnitev razstreliva: na svojo žrtev delujejo neposredno z manjšimi količinami eksploziva; takšna količina eksploziva lahko zadostuje za smrt ali pa zgolj za poškodbo osebe; eksplozija je usmerjena predvsem na človeško stopalo in nogo; odlikujejo jih majhne dimenzije in zelo majhne količine kovine, zaradi česar jih je težje odkriti z detektorjem (Radić, 2001, str. 31);
- protipehotne razpršne mine: vsebujejo drobce ali imajo plašč oblikovan tako, da se razleti na drobne koščke, ko se aktivira glavna eksplozivna polnitev; na žrtve

delujejo z drobci; razpršne mine delimo na statične, odskočne in mine usmerjenega dejstva (Ulčar, 1995, str. 53).

Slika 1: Protipehotna mina PMA 2 (izvor JNA)



Vir: Bizjak, 2000, str. 449.

Pomembna lastnost PPM je količina glavne eksplozivne polnitve, od katere je odvisen učinek, ki ga bo ta imela na svojo žrtev. Pri kontaktnih minah, kjer je mina sprožena ob neposrednem kontaktu s svojo žrtvijo, zasledimo manjšo količino eksplozivne polnitve. Takšne mine delujejo neposredno na stopalo svoje žrtve, zato mina nima težkega dela, da doseže svoj učinek.

Mine z manjšo količino eksploziva ciljajo na onesposobitev žive sile, kateri zadajo težke poškodbe noge; s tem je takšen vojak prav tako izločen iz boja kot tisti, ki je bil zaradi delovanja mine v trenutku mrtev. Postavlja se celo vprašanje, kakšen učinek bolj demoralizira enote v boju – živ vojak, ki ima sicer popolnoma poškodovano nogo, katero bo najverjetneje potrebno amputirati ali mrtev vojak (Courtney-Green, 1991, str. 171).

Protitankovske mine

Po 2. svetovni vojni je bilo več vozil izgubljenih kot posledica mine, kot vse ostale grožnje skupaj (Tremblay, Bergeron & Gonzalez, 1998, str. 10). Protitankovske mine

(Antivehicular mine) so sposobne onesposobiti težko vozilo ali v celoti uničiti lažje vozilo.

Slika 2: Protitankovska mina (izvor JNA)



Vir: Bizjak, 2000, str. 449.

Zaščita pred minami je trenutno eden od najmanj razumljenih vidikov preživetja vojaškega vozila. Praviloma se zaščita proti minam išče s pomočjo dodatnega oklepa. Same fizike, ki obkroža eksplozijo vkopane mine, obremenitve na vozilo in mehanizme, ki poškodujejo, vozilo pa žal še ne razumemo dovolj dobro.

Slika 3: Eksplozija 6,5 kg protitankovske mine pod tovornim vozilom



Vir: Genson, 2006, str.3.

Najbolj pogosta oblika protitankovskih min je rušilna mina, ki za uničenje cilja uporablja veliko količino eksploziva. Lahka in nezaščitena vozila so še posebej občutljiva na rušilne mine. Sliki 3 in 4 prikazujeta detonacijo in učinek rušilne mine s 6,5 kg eksploziva TNT na nezaščitenem 5-tonskem tovornjaku.

Slika 4: Učinek eksplozije 6,5 kg protitankovske mine pod tovornim vozilom



Vir: Genson, 2006, str.3.

Težja ter oklepna vozila so manj ogrožena zaradi rušilnih min, lahko pa jih poškodujejo prebojni deli prebojnih protitankovskih min (Penetrator Mines) oziroma eksplozivne naprave s specialno oblikovano obliko eksplozivnega polnjenja (Shaped Charges). Eksplozivno polnjenje mine je sestavljeno iz obrnjenega votlega stožca narejenega iz kovine (običajno baker), ki je obkrožen s plaščem eksploziva. Pri proženju mine zaradi oblike eksploziva pride do stiskanja bakrenega stožca, pri tem se ustvari vroč curek staljene kovine, ki je usmerjen v smer stožca. Ta curek lahko prebije več centimetrov debelo jeklo. Prebojne mine prebijejo oklep s pomočjo izstrelka, ki ga izstrelji v vozilo. Tako prebojna protitankovska mina kot mina s specialno oblikovano obliko eksplozivnega polnjenja se redkeje uporabljata (in sta izven področja tega magistrskega dela).

Uporablja se jih s ciljem onesposobiti tanke in druga oklepna sredstva na bojišču. Naravne ovire pogosto niso dovolj, da bi bilo delovanje oklepnih sredstev onemogočeno, zato se je uporaba PTM izkazala za zelo učinkovito sredstvo njihovega

oviranja. Lahko bi jih tudi opisali kot neke vrste PPM, le da vsebujejo več eksploziva, za njihovo aktiviranje pa je potrebna tudi večja naletna teža.

Tank onesposobijo tako, da poškodujejo gosenice ali pa uničijo spodnji del oklepa pod vozilom, ki je v tem delu, v primerjavi z ostalimi deli, najtanjši. Gosenice se nahajajo neposredno na zemlji, širina je v razponu od 500 do 700 mm. Oklep je od zemlje oddaljen med 400 do 500 mm, debeline 20 do 30 mm (Radić, 2001, str. 22).

Po učinku jih lahko razdelimo v tri skupine:

- PTM, katerih učinek je vezan na polnitev razstreliva;
- rušilno-prebojne PTM;
- PTM s kumulativnim učinkom.

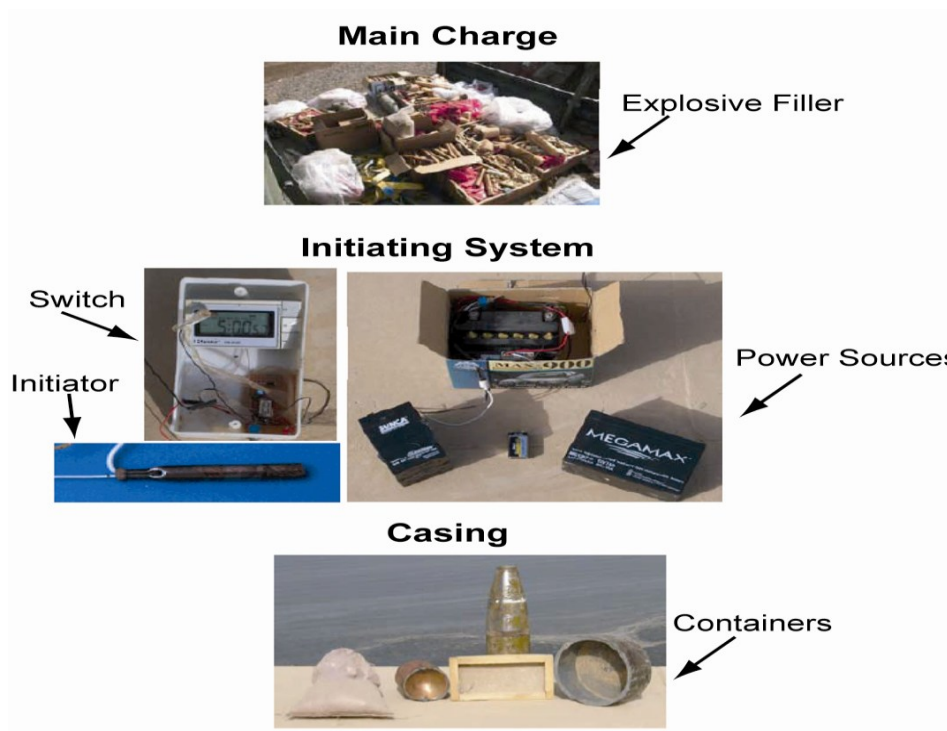
Improvizirane eksplozivne naprave (IED)

Improvizirana eksplozivna naprava (IED – Improvised explosive device) je naprava izdelana ali sestavljena na improviziran način, sestavljena iz eksplozivnih, strupenih, pirotehničnih snovi ali nevarnih kemikalij, namenjena za uničevanje, poškodovanje, strašenje in odvracanje. Lahko je sestavljena iz vojaških komponent, vendar je pogosteje narejena iz nevojaških sestavin (Department of the Army, 2005, str. 1/5).

V realnosti je lahko IED sestavljena praktično iz *vsakega* materiala, potrebuje le primeren prožilec in snov, ki bo delovala negativno na vozilo oziroma vojaka. Velikost IED je opredeljena v merah od velikosti škatlice cigaret pa vse do velikosti vozila.

V osnovi je sestavljena iz glavnega polnjenja (Main Charge: eksploziv, strupi, pirotehnične snovi), prožilnega sistema (Initiating System) in ohišja (Casing). Sama oblika pa je odvisna od domišljije izdelovalca. Na Sliki 5 lahko vidimo primere sestavnih delov IED naprav.

Slika 5: Sestavni deli IED naprav



Vir: Department of the Army, 2005, str. 4/2.

2.2 Princip delovanja min

Detonacija je proces širjenja tlačnega vala skozi eksplozivno sredstvo, kar povzroči kemično reakcijo znotraj eksploziva. Kemična reakcija povzroči hitro sproščanje energije v obliki zvočnega vala in počasnejšo sproščanje energije v obliki širjenja plinov (expanding gas bubble), celotni proces se zgodi v času krajšem od 1 μ s. Začetni tlak pri detonaciji mine je v obsegu 100.000 do 250.000 barov, temperatura pa lahko doseže temperature med 2.000 °C do 6.000 °C (Tremblay, Bergeron & Gonzalez, 1998 v Genson, 2006, str. 5).

V primeru, da je eksplozija zaprta znotraj tal (v zemlji), lahko pri sami eksploziji opazimo tri faze: faza, ko eksploziv vpliva na zemljo, faza širjenja plinov na površje in faza vzajemnega delovanja med zemljo in vozilom. Slika 6 prikazuje časovno zaporedje eksplozije protitankovske mine, kjer so dobro vidni rezultati eksplozije (udarni val in širjenje plinov), ki se širijo navzgor obdani z obročem izvržene zemlje.

Slika 6: Časovni razvoj eksplozije mine



Vir: Genson, 2006, str. 5.

Pri zaščiti modernih vojaških vozil pred minami moramo upoštevati več mehanizmov, ki nastanejo pri eksploziji mine. Največjo grožnjo pri sprožitvi mine predstavlja rušilni nadtlak, ta povzroča hude poškodbe pljuč, povzroča pa tudi opekline in sekundarne požare kot posledico ognjenih krogel (fireball), ki se tvorijo pri sami eksploziji. Prebojna vozila v primeru eksplozije v večini primerov pomeni smrt posadke in vojakov v vozilu (Genson, 2006, str. 4).

Drobcji iz ohišja mine in sekundarni projektili (Slika 7) imajo različne stopnje smrtnosti. Majhni delci protipehotnih min so zmeroma nevarnost za posadko in bi se jih lahko ubranili s pomočjo relativno lahkega oklepa vozila. Veliki, težki delci pa imajo bistveno večjo energijo in predstavljajo resno grožnjo.

Udarne obremenitve se prenašajo skozi dno vozila in lahko povzročijo poškodbe, kot so zlomi kosti, medtem ko deformacija šasije vozila oziroma bolj natančno prostora posadke lahko povzroči poškodbe zmečkanin udov. Nenazadnje so vir poškodb tudi nagli premiki celotnega vozila kot posledica eksplozije (sama nesreča vozila).

Slika 7: Izmet in fragmenti, ki nastanejo po eksploziji

Vir: Genson, 2006, str. 4.

Zvočni udarni val

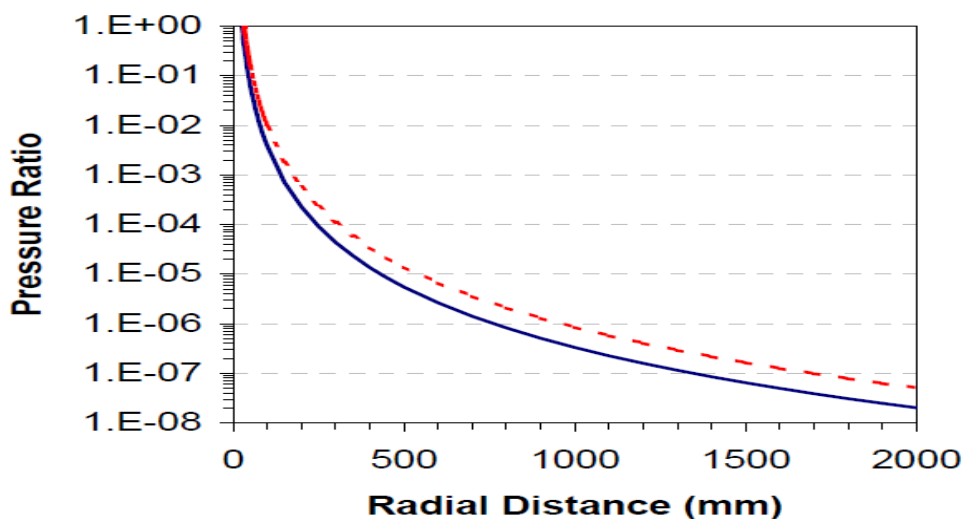
Ob sprožitvi mine se tvori zvočni udarni val in zaradi vkopanosti mine v zemljo ta takoj deluje na okoliško površino (Tremblay, Bergeron & Gonzalez, 1998, str. 12). Moč zvočnega udarnega vala je odvisna od akustične impedance med posameznimi materiali skozi katere potuje val. Če udarni val potuje skozi snov z visoko impedanco (kot so kovine ali zemlja) v material z nizko impedanco (recimo plin), potem se večina udarnega vala razprši oziroma odbije nazaj proti centru eksplozije. Ko zvočni udarni val eksplozije doseže površino in preide v zrak, povzroči izmet tanke plasti zemlje. Velika razlika v impedanci med zemljo in zrakom pomeni, da je delovanje udarnega vala na vozilo relativno majhno, razen v primeru, da se del vozila dotika zemlje (Bergeron & Gonzalez, 2004 v Genson, 2006, str. 6). Če se vozilo dotika tal, pa se energija zvočnega udarnega vala (shock wave) prenese na vozilo v obliki udarnega vala (stress wave) (Genson, 2006, str. 6).

Kot že omenjeno je delovanje zvočnega udarnega vala na vozilo močno le, če se vozilo dotika zemlje, takoj ko je vozilo bolj oddaljeno, pa moč udarnega vala drastično pade.

Slika 8 prikazuje padec tlaka s širjenjem udarnega vala. Na preprostem modelu s 100 g eksploziva je ugotovljeno, da je vrednost tlaka udarnega vala na površini zemlje le še

približno 85 %, če je bilo eksplozivno polnjenje zakopano 30 mm v zemljo oziroma je vrednost tlaka udarnega vala le še 1 % začetne vrednosti, če je eksplozivno polnjenje vkopano v globini preko 80 mm (NATO, 2004a, str. 2/5).

Slika 8: Padeč tlaka zvočnega udarnega vala v odvisnosti od razdalje



Vir: NATO, 2004a, str. 2/6.

Širjenje plinov

Pri eksploziji mine poleg zvočnega udarnega vala nastane velika količina plinov, ki se z veliko hitrostjo širi (hitrost širjenja je 3–4 km/s), posledično pa so sposobni izvajati mehansko delo. Količina plina je odvisna od mase eksploziva. Postavitev mine v zemljo pa ima za posledico, da se plini širijo predvsem v navpični smeri (NATO, 2004a, str. 2/5).

Širjenje plinov ob detonaciji eksploziva ima za posledico izmet zemlje nad mino. Izmet zemlje se zgodi z nadzvočno hitrostjo in ustvari udarni val v obliki loka. Slika 9 prikazuje porazdelitev rezultatov eksplozije, ko se ti pričnejo širiti v vertikalni smeri. V teoriji velja, da lahko plin, ki ima visok dinamični tlak, povzroči velike lokalne deformacije v primeru, da je tok plina ujet s primerno geometrijo cilja. Plin, ki se širi z veliko hitrostjo je lahko ujet z obliko zemlje in objekta (vozila), pri čemer se pojavi tako imenovan "mehurček" (bubble) z izredno visokim tlakom, ki lahko deluje tudi na večjo površino vozila oziroma cilja.

Slika 9: Širjenje plinov in izmet zemlje ob eksploziji mine



Vir: Hansen, b. l., str. 5.

Ugotovljeno je, da faza širjenja plinov proizvaja velike globalne in lokalne učinke na cilj. Smer in količina plina je močno odvisna od lastnosti tal. Globlje vkopane mine, tla z večjo gostoto in višjo vsebnostjo vlage povzročijo, da bo širitev plina bolj usmerjena v navpični smeri in s tem tudi bolj nevarna za vozilo oziroma za cilj (Tremblay, Bergeron & Gonzalez, 1998 v Genson, 2006, str. 9).

Začetna oblika širjenja plinov je odvisna od globine vkopa mine in stanja zemlje (tip zemlje, vlažnost in zbitost), običajno je v začetni fazi v obliki stožca s kotom med 45 in 60 stopinj. Kasneje se kot stožec poveča na 100–120 stopinj zaradi širjenja vzporedno s površino zemlje (GICHHD, 2004, str. 130). Zaradi velikega nadtlaka, ki se nahaja v stožcu in posledično velike sposobnosti mehanskega dela, se stožec v literaturi pogosto imenuje tudi stožec uničenja (Cone of Destruction).

Slika 10: Primer stožca uničenja za lahko logistično vozilo



Vir: GICHHD, 2004, str. 131 in 135.

V primeru, da je vozilo minsko nezaščiteno, je del vozila, ki se nahaja v stožcu uničenja, običajno popolnoma uničen in posledično osebe znotraj stožca mrtve.

Izmet zemlje

Širjenje plinov ob detonaciji eksploziva ima za posledico izmet zemlje nad mino. Prenos energije na okoliško zemljo povzroči izmet zemlje v obliki kolobarja, ki obdaja pline, ki se širijo po detonaciji mine (Bergeron & Tremblay, 2000, str. 506). Lastnosti tal, zlasti na ravni nasičenosti in poroznosti, določajo količino in smer toka izmeta (Tremblay, Bergeron & Gonzalez, 1998, str. 24). Slika 11 prikazuje porazdelitev detonacijskih izdelkov in izmeta tal za tipično eksplozijo mine; razvidno je, kako izmet zemlje obkroža pline nastale z eksplozijo mine.

Slika 11: Produkti detonacije in izmet zemlje

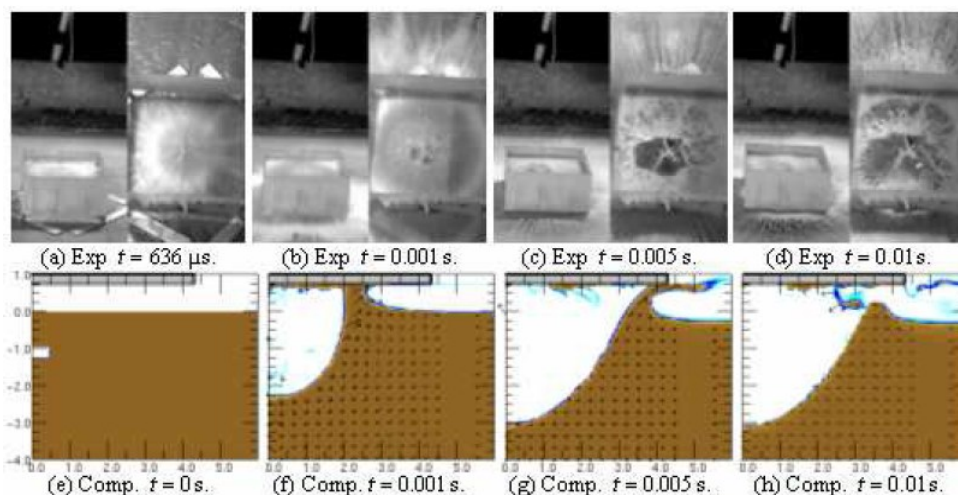


Vir: Genson, 2006, str. 7.

2.3 Delovanje min na vozilo

Izmerjeni podatki pri eksplozijah min kažejo, da širjenje plinov in izmet zemlje delujeta na površino vozila na dva načina oziroma lahko ločimo dve komponenti delovanja obremenitev. Prva komponenta je koncentrirana, kratkotrajnega delovanja in jo imenujemo tudi udarna obremenitev (impact load). Udarna obremenitev je sestavljena iz izmeta zemlje nad mino in rezultatov gorenja eksploziva (plini), ki se zaradi velikih začetnih tlakov širijo skozi odprtino v zemlji. Drugi del predstavlja porazdeljena obremenitev (distributed load), ki je razpršena in traja dlje. Ta komponenta je posledica kasnejšega širjenja tlakov znotraj tako imenovanega »mehurčka« plinov in prenosa gibalne količine iz kraterja mine. Učinke eksplozije mine skozi obdobja lahko vidimo na Sliki 12; na sliki je razvidna primerjava med digitalno sliko narejeno pri sami eksploziji in računalniško simulacijo, kjer gre za pomanjšani model imitacije mine.

Slika 12: Primerjava med eksplozijo in računalniško simulacijo eksplozije



Vir: Genson, 2006, str. 8.

Ker je spremljanje in analiza tako hitrih sprememb, kot se pojavljajo pri eksploziji zelo otežena, se domneva, da na vozilo (tarčo) deluje izmet zemlje, ki se je nahajal neposredno nad mino, gnan s pomočjo začetne ekspanzije plinov in nato porazdeljena obremenitev, ki je posledica udarca izvrženega materiala iz kraterja mine in daljšega širjenja plinov.

Zvočni udarni val

Del obremenitev na vozilo prihaja iz udarnega vala (shock wave), ki nastane ob eksploziji mine. Zaradi velike razlike v impedanci med zemljo in zrakom, je ta komponenta pomembna samo v primeru, da se vozilo oziroma deli vozila dotikajo površine nad mino oziroma so zelo blizu površini. Na večji razdalji udarni val nima učinka na vozilo (Fourney et al., 2006, str. 210). Relativna velikost obremenitve ni znana, vendar pa je njeno delovanje na vozilo zelo kratko.

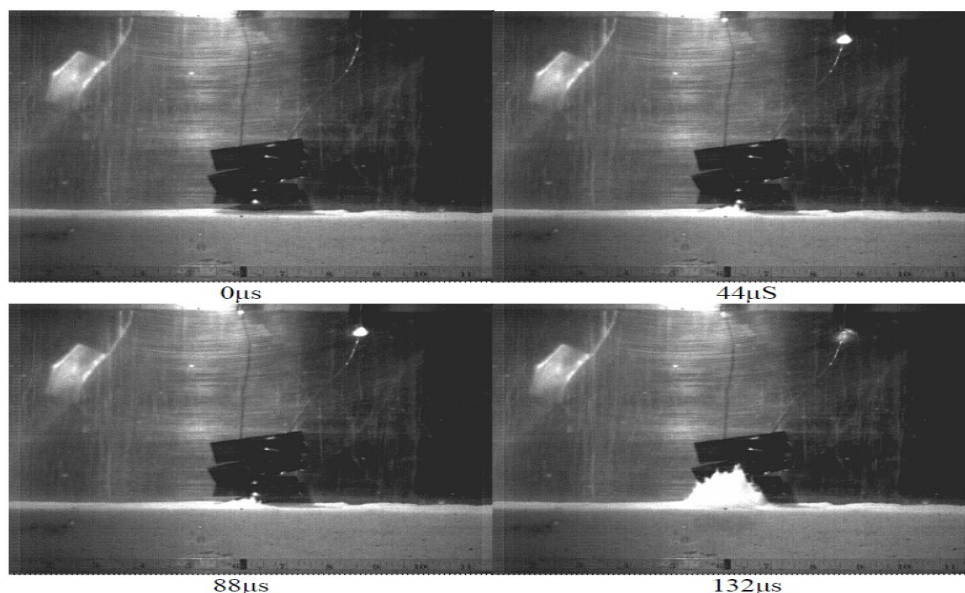
Udarne obremenitve

Zbrani podatki kažejo, da začetna obremenitev na vozilo nastane kot posledica izmeta zemlje nad mino, hitrost izmeta je lahko tudi 1,5 km/s (podatek velja za dejansko velikost protitankovske mine) (Bergeron & Gonzalez, 2004, str. 21). Izmet zemlje in udarec v vozilo lahko povzročita velike obremenitve v zelo kratkem času. Oblika vozila lahko dodatno lokalizira smer izmeta in ustvari lokalne točke z dodatno povečanim

tlakom, še posebej je lahko takšno povečanje nevarno pri notranjih vogalih (Tremblay, Bergeron & Gonzalez, 1998 v Genson, 2006, str. 9). Učinek dinamične spremembe tlaka in vpliv izmeta tal lahko povzročita lokalno porušitev materiala in povzročita preboj dna vozila, posledično pa je posadka nezaščitena pred rušilnimi vplivi eksplozije.

Slika 13 prikazuje izseke posnete s hitro kamero pri čemer je snemana detonacija 0,5 gramskega naboja eksploziva, naboj je bil zakopan 18 mm v zemljo. Kamera je zajemala sliko s hitrostjo 44 μ s. Slika 13 kaže situacijo pred detonacijo in tri posnetke po detonaciji.

Slika 13: Eksplozija 0,5 g naboja zakopanega 18 mm v zemljo



Vir: Genson, 2006, str. 10.

Na Sliki 13 lahko opazimo, da se je izmet zemlje nad mino zgodil z več kot 400 m/s. Zemlja nad eksplozivnim nabojem se tako premakne z nadzvočno hitrostjo navzgor, opazimo pa lahko tudi zračni žep (ki ublaži udarno obremenitev). Zemlja izvržena iz kraterja je prva, ki udari v cilj/vozilo, udarec zemlje v vozilo se v literaturi imenuje tudi udarna obremenitev.

Porazdeljena obremenitev

Porazdeljena obremenitev deluje v daljšem časovnem obdobju in na širšem območju. V primeru, da so plini, ki nastanejo kot posledica hitrega izgorevanja eksploziva, omejeni

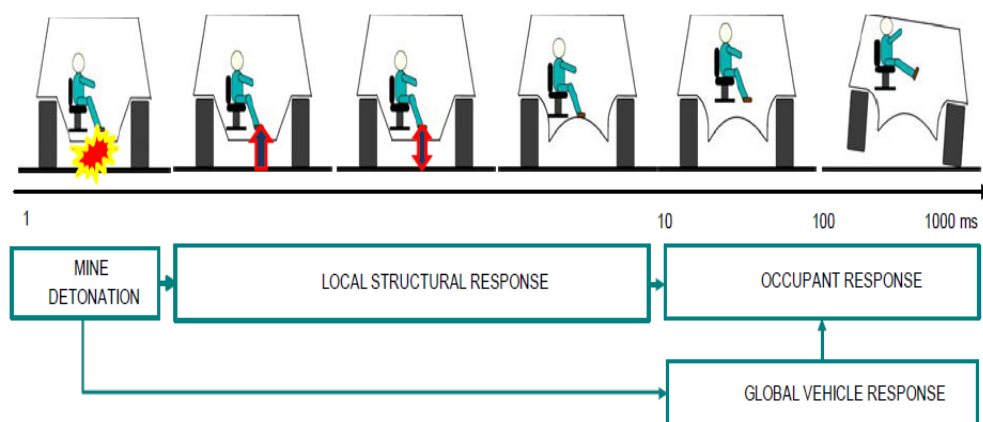
z obliko vozila (tarče) in izmetom zemlje, lahko nastane plinski mehurček, ki tvori dolgotrajno porazdeljeno obremenitev na vozilo; pri tem pod dolgotrajnim mislimo delovanje velikosti nekaj milisekund. Dokler je omenjeni plinski mehurček omejen z izmetom zemlje in vozilom, bo deloval na vozilo, pride pa lahko tudi do negativne obremenitve, če tlak v plinskem mehurčku pade pod tlak okolice. Izmet materiala iz kraterja deluje na vozilo neposredno in ob udarcu ob površino vozila prenese svojo energijo na površino vozila. Testi s pomanjšanimi modeli min so pokazali, da material izvržen iz kraterja mine prenese približno 2/3 vse energije na površino cilja/vozila (Fourney et al., 2006, str. 207). Kot je razvidno na Sliki 6, izmet iz kraterja in plinski mehurček delujeta na površino vozila vsaj 5 ms, kar je relativno veliko obdobje v primeru preučevanja delovanja eksplozije mine. Distribucijska obremenitev deluje prek veliko večje površine vozila kot v primeru udarne obremenitve.

2.4 Obremenitve na vozilo

Eksplozija mine pod vozilom (Slika 14) lahko povzroči naslednje poškodbe oziroma obremenitve:

- lokalne;
- globalne;
- poškodbe zaradi padca vozila;
- sekundarni vplivi.

Slika 14: Proces delovanja mine



Vir: Kania, 2009, str. 69.

Lokalno delovanje

Lokalne obremenitve se pojavijo takoj po eksploziji mine pod vozilom. Udarni val, ki se formira pri eksploziji, dospe do dna vozila približno 0,5 ms po eksploziji. Ob prihodu na dno vozila ga to prestreže, pri čemer prestreže tudi njegovo energijo, na mestu prestrežanja udarnega vala se pojavijo ekstremno povišani tlaki, istočasno pa dno vozila sprejme pospešek v vertikalni smeri. Približno 5 ms po eksploziji se lokalne plošče na dnu vozila deformirajo, tako elastično kot plastično. Poškodbe plošče so odvisne od oblike, debeline plošče, materiala iz katerega je narejena in ojačitev, ki jih ima. Udarni val povzroči mehanske obremenitve, ki se razširijo po celotnem vozilu ter povzročajo močne vibracije vozila.

Globalno delovanje

Udarni val in nadtlak pod vozilom delujeta kratek čas na celotni spodnji del vozila. Celotni impulz, ki ga preneseta na vozilo, je merilo začetne hitrosti premika celotnega vozila v vertikalni smeri, posledično pa odboja celotnega vozila v zrak. Kako visoko bo vozilo odbilo je odvisno od velikosti impulza ter mase vozila in v primeru eksplozije mine izven centra težišča vozila, momentov, ki se pojavijo. V povprečju je potrebno 10 do 20 ms do pričetka gibanja celotnega vozila, pri čemer maksimalno višino skoka doseže od 100 do 300 ms po sprožitvi mine.

Vpliv padca vozila

Višina odboja vozila v zrak je odvisna od teže vozila in impulzov, ki jih prenese eksplozija na vozilo, ter od momenta inercije okoli težišča vozila. Ko vozilo doseže maksimalno višino, pade nazaj na zemljo zaradi gravitacije. V običajnih pogojih se vozilo premika in posledično ne pade nazaj na isto točko, v primeru testiranja pa gre za statične poizkuse, zato je možno, da vozilo pristane nazaj v krater, ki ga je proizvedla mina. Zato je možno, da v statičnih poizkusih pride do večjih poškodb, kot bi nastale v realnih situacijah.

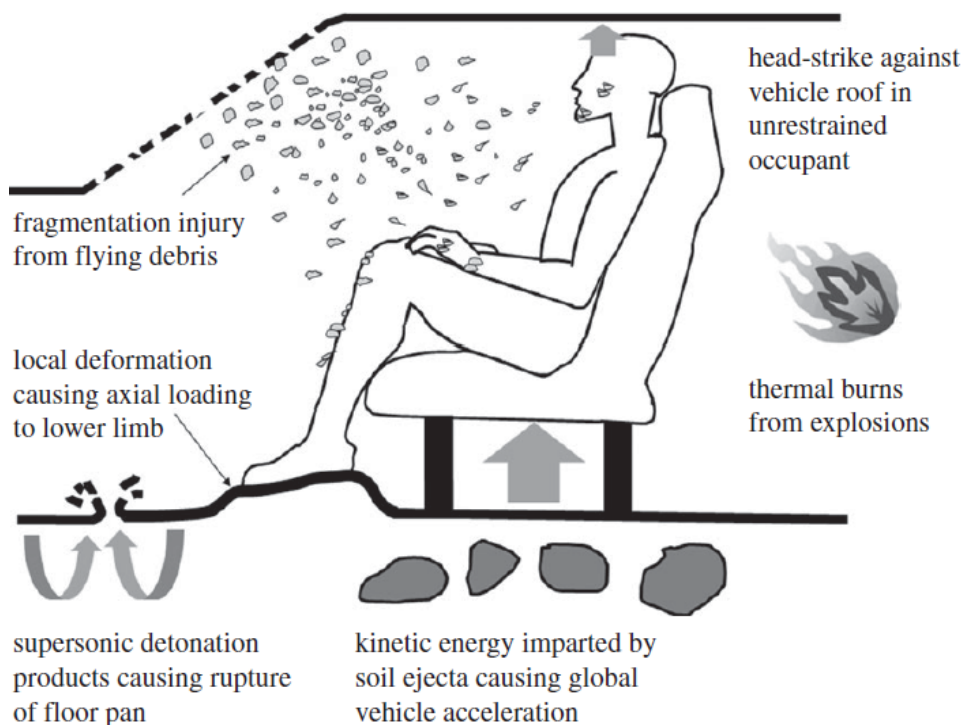
Posledični vplivi

Pod posledičnimi vplivi upoštevamo pojave, kot sta: preobračanje vozila po pristanku na zemljo, čelno trčenje v prepreke po eksploziji. Seveda pa je potrebno upoštevati tudi posledične vplive pri načrtovanju in izdelavi vozil (NATO, 2007, str. 2-2). Poleg navedenih vplivov je potrebno upoštevati, da v primeru rušilno prebojnih in kumulativnih min nastane prebojni curek, ki lahko prebije dno vozila. V primeru preboja pa je potrebno upoštevati: strupene pline, ki se nahajajo v prebojnem curku, visoke tlake in temperaturo, ki se pojavijo v notranjosti vozila ter drobce, ki se širijo znotraj vozila. Vse navedeno pa je lahko nevarno za življenje posadke oziroma lahko posadko poškoduje.

2.5 Obremenitve na posadko

Na odziv potnika v vozilu vplivata tako lokalni učinek (šok in deformacije) kot globalni učinek (gibanje vozila) eksplozije mine (Slika 15).

Slika 15: Mehanizmi poškodb v notranjosti vozila



Vir: Ramasamy et al., 2011, str. 163.

Človeško telo ali deli telesa so lahko obremenjeni neposredno s strani udarnega vala (primarni učinek), zaradi lokalnih deformacij (sekundarni učinek), posredno pa so lahko obremenjeni zaradi relativnega gibanja posadke in posledično zaradi udarcev v konstrukcijo vozila (terciarni učinek) (NATO, 2007, str. 2-2), poleg teh treh učinkov obstaja še četrti (kvartarni), ki je posledica gorenja posameznih delov vozila, ki so bili izpostavljeni visokim temperaturam detonacije (Tabela 1). Raziskave so pokazale, da predstavljajo največjo grožnjo za posadko terciarni učinki (Ramasamy et al., 2011, str. 163).

Tabela 1: Možne poškodbe za posadko

Poškodbe	Mehanizem poškodb	Klinični učinki	Reduciranje poškodb
Primarne poškodbe	Udarni val eksplozije	Poškodbe pljuč, poškodbe prebavnega trakta, poškodbe in deformacije mehkega tkiva	Povečanje klirensa vozila, izboljšanje odvajanja udarnega vala okoli vozila, uporaba materialov za zmanjšanje učinkov udarnega vala eksplozije
Sekundarne poškodbe	Fragmenti mine, izmet zemlje in fragmenti vozila	Prebojne rane, predvsem na spodnjih okončinah in poškodbe obraza zaradi fragmentov stekla	Izboljšanje balistične zaščite dna vozila in osebne zaščitne opreme vojaka
Terciarnne poškodbe	Globalni pospešek vozila, lokalna deformacija dna vozila	Močne obremenitve zgornjega dela telesa (poškodbe vrata in hrbtenice), poškodbe glave kot posledica udara v strop vozila	Povečanje klirensa, V oblika dna, izboljšanje sistema varnostnih pasov
Kvartarne poškodbe	Toplotne poškodbe	Opekline	Notranjost vozila iz negorljivih materialov, negorljiva uniforma vojaka

Vir: Ramasamy et al., 2011, str. 163.

Stopnja nevarnosti za vozilo in posledično tudi za posadko v vozilu je odvisna od razdalje med posadko in lokacijo eksplozije, konstrukcije vozila in notranjo konstrukcijo vozila (sedež, pritrditev sedeža na vozilo in konstrukcije naslona za stopala) (Radonić et al., 2004, str. 323).

V primeru, da je sedež ali naslon za stopala pritrjen v bližini talne plošče, ki se deformira, obstaja velika verjetnost prenosa obremenitev na stopala, gležnje, preostale dele noge in na zgornji del telesa, na hrbtenico. Poleg tega je možnost poškodbe odvisna od začetnega položaja telesa, prisotnosti in uporabe osebne varovalne opreme in uporabe varnostnih pasov sedeža. Ravno tako vplivajo na večjo ali manjšo možnost poškodb tudi: starost, spol, zdravje in usposobljenost posadke (NATO, 2007, str. 2-4).

Na splošno so noge in stopala/gležnji najprej obremenjeni, kar je logično, saj so običajno najbližje lokaciji eksplozije oziroma mestu deformacije konstrukcije (NATO, 2007, str. 2-4).

Zaradi pospeška se noge premaknejo navzgor, pri čemer obstaja nevarnost, da udarijo v kakšne dele vozila. Gibanje nog vpliva na hrbtenico in druge dele telesa. Obremenitev medenice je lahko posledica obremenitev, ki se pojavijo na sedežu vozila oziroma se prenesejo preko nog. Gibanje in pospešek medenice se prenese na zgornji del telesa, tudi na vrat in glavo. Pri eksploziji se bo celotno telo začelo premikati navpično (NATO, 2007, str. 2-2).

Kadar se varnostni pas ne uporablja ali je neprimeren za uporabo, lahko člani posadke udarijo z glavo v streho vozila. Udarec glave v streho vozila lahko povzroči velike spremembe v pospeških glave oziroma velike obremenitve v predelu vratne hrbtenice. Takšne visoke obremenitve v predelu vratu so lahko smrtno nevarne in jih je treba preprečiti (NATO, 2007, str. 2-7).

3 ZAŠČITA PRED MINAMI

Zaščito pred minami lahko razdelimo na dva dela:

- zunanjo zaščito;
- notranjo zaščito.

Zunanja zaščita absorbira in odbije večji del energije mine pri čemer zmanjša učinke, ki se prenesejo iz vozila na posadko.

Odziv vozila pri eksploziji protioklepne mine je odvisen od več dejavnikov, ključni pa so naslednji:

- razdalja med vozilom in površino tal (klirens nad samo točko detonacije mine);
- globina vkopa mine;
- vrsta tal (zemlja, pesek, kamenje) in pogoji (namočena, suha tla);
- oblika dna vozila;
- balistični materiali, ki absorbirajo in ščitijo vozilo.

Vsi štirje dejavniki imajo pomemben vpliv na prenos skupne energije (impulza), ki jo vozilo prevzame od zakopane mine.

Notranja zaščita pa je namenjena predvsem zaščiti posameznega vojaka. Ključni elementi zaščite so:

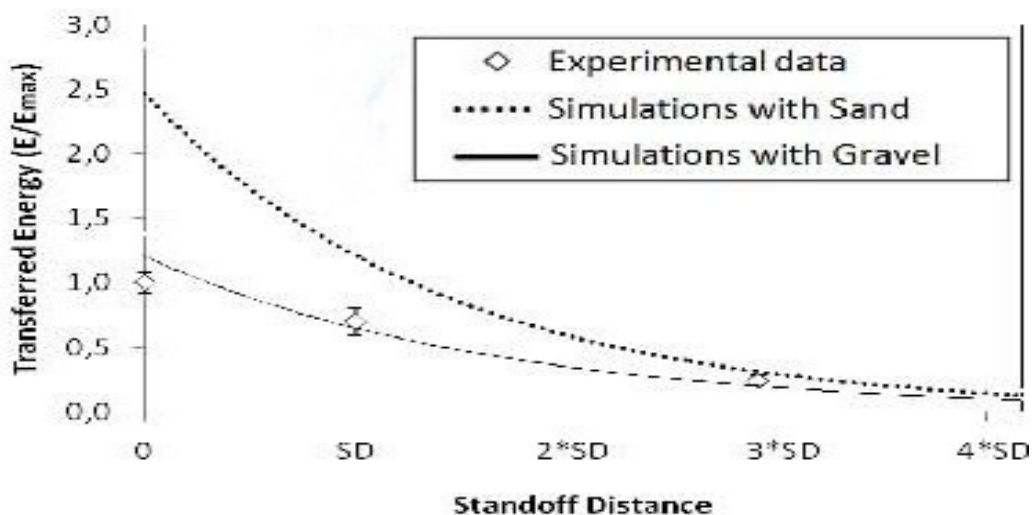
- osebna zaščita vojaka, čelada, ustrezni vojaški škornji, neprebojni jopič in zaščita sluha;
- sistem sedeža in varnostnega pasu ter naslonjal za noge in roke;
- pravilna ergonomija notranjosti vozila, nobenih ostrih robov ali nevarnih objektov v bližini posadke, v katere bi se lahko udarili in poškodovali v primeru naleta na mino.

3.1 Razdalja vozila od mine

Razdalja med tarčo in površino tal je eden od glavnih dejavnikov pri ugotavljanju škode, ki jo bo mina povzročila vozilu. Če je vozilo v stiku s površino tal, se udarni val prenese neposredno na površino vozila. Povečanje razdalje med vozilom in površino tal

povzroči, da je neposredni učinek udarnega vala praktično zanemarljiv. Večja razdalja omogoča tudi lažjo širitev plinskega balončka in lažji izmet materiala iz kraterja mine (Bergeron & Tremblay, 2000, str. 508). S povečanjem razdalje med vozilom in površino tal se istočasno poveča tudi površina na katero deluje porazdelitvena obremenitev, kar seveda pomeni, da se njena jakost zmanjša.

Slika 16: Vpliv višine dna vozila na transfer energije



Vir: Hoyos-Uribe, Bastidas-Poved & Casas-Rodrigue, 2011, str. 15.

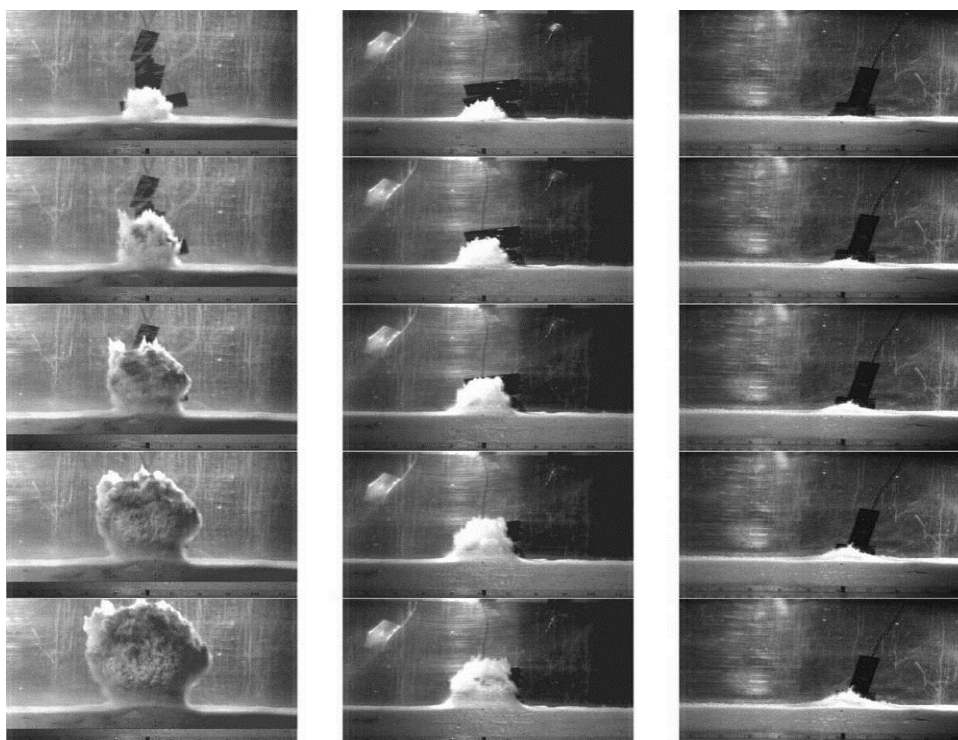
Opravljenih je bilo veliko študij glede vpliva razdalje dna vozila od tal. Za primerjavo povzemamo rezultate testa, ki so ga opravili na Univerzi Los Andes, kjer je razvidno, kako se velikost energije prenesene na testno ploščo z razdaljo zmanjšuje, v samem zaključku pa ugotavlja, da ravno razdalja vozila od mine najbolj vpliva na velikost prenesene energije na vozilo (Hoyos-Uribe, Bastidas-Poveda & Casas-Rodrigue, 2011, str. 16).

3.2 Globina vkopa mine

Globina vkopa mine ima velik vpliv na mehanizme delovanja na vozilo. Mine, ki so vkopane blizu površine, delujejo na vozilo predvsem s produkti, ki nastanejo pri detonaciji eksploziva. S povečanjem globine vkopa mine pa je potrebna večja energija za izmet zemlje nad mino, povečanje globine vkopa pomeni večjo maso zemlje nad mino in zmanjšanje hitrosti izmeta. Večja globina pomeni tudi, da je izmet zemlje razpršen po širšem območju.

Slika 17 prikazuje primerjavo začetne eksplozije za tri različne globine vkopa eksplozivnega polnjenja. V primeru testa gre za model min z 0,5 g eksploziva, testi so bili opravljeni na Univerzi Maryland Dynamic Effects Lab. V prvem stolpcu je naboj vkopan na višini 4,83 mm (0,19"), v drugem stolpcu lahko vidimo posledice za globino vkopa na višini 17,53 mm (0,69"), v tretjem stolpcu pa je globina 30,23 mm (1,19"). Slike so narejene s kamero visoke hitrosti, interval med posnetki je 40 μ s. Primerjava slik med različnimi globinami vkopa eksplozivnega polnjenja jasno kaže razliko med potekom eksplozije.

Slika 17: Primerjava eksplozij za tri različne globine vkopa



Vir: Genson, 2006, str. 14.

Najbolj očitna razlika med preizkusi je razlika v hitrosti izmeta zemlje in hitrosti širjenja plinskega mehurčka. Iz slik je razvidno, da je izmet zemlje pri mini vkopani 4,83 mm v zemljo potoval 2-krat dlje od mine vkopane 17,53 mm in 4-krat dlje kot v primeru mine vkopane 30,23 mm. Razlika v hitrosti je posledica dodatne mase izmeta zemlje pri minah z večjo globino vkopa.

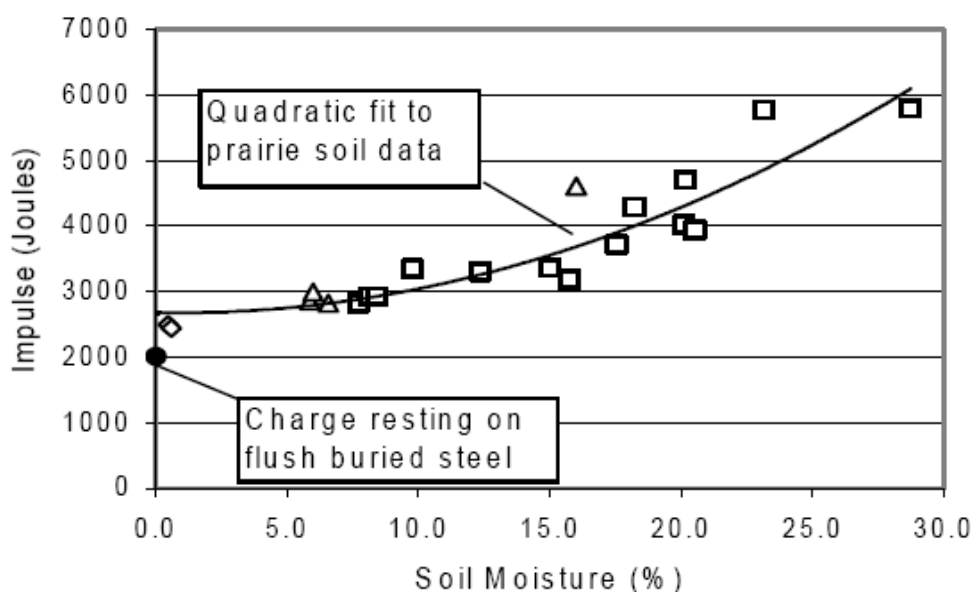
Izmet zemlje je v primeru plitkejše zakopanih min bolj horizontalen oziroma je kot izmet večji. Pri mini vkopani 4,83 mm je širjenje izgorelih plinov navzgor in navzven,

medtem ko je pri minah vkopanih na 17,53 mm in 30,23 mm širjenje plinov usmerjeno predvsem navzgor v obliki kupole, smer širjenja plina pa je omejena s stenami kraterja, ki nastanejo pri minah, ki so vkopane globlje.

3.3 Zemlja

Stanje tal, zlasti nasičenost z vodo, ima pomemben vpliv na mehanizem same eksplozije mine. Visoka stopnja zasičenosti z vodo zmanjša strižno napetost tal, kar zmanjšuje količino energije, potrebne za izmet te (Tremblay, Bergeron & Gonzalez, 1998, str. 34). Stopnja hitrosti gibanja zemlje v fazi plinskega mehurčka je odvisna od poroznosti in gostote zemlje, ki pa je v glavnem odvisna od vsebnosti vode. Mokra in nasičena zemlja vsebuje pore napolnjene z vodo in je bolj odporna na drobljenje (Gupta & Skaggs, 2003 v Genson, 2006, str. 15). To omejuje plinski mehurček in preprečuje, da bi plin pobegnil skozi zemljo, kar pa pomeni, da se več energije prenese na vozilo oziroma cilj.

Slika 18: Vpliv vlažnosti zemlje na impulz eksplozije



Vir: NATO, 2004a, str. C-25.

Slika 18 prikazuje odvisnost od impulza, ki ga mina preda na tarčo v odvisnosti od vlažnosti zemlje. Gre za test, kjer je uporabljen eksploziv C4 mase 1 kg. Primerjava je narejena za tri materiale, in sicer za dva tipa zemlje in kovinsko ploščo: prerijska zemlja z velikim procentom mulja in gline, silicijev pesek (suh in vlažen) in jekleno ploščo. Podatki so izmerjeni za vkop eksploziva 50 mm globoko, izjema je jeklena plošča kjer

je bil eksploziv položen na vrh plošče. Razdalja od tal do testne plošče je bila 450 mm oziroma v primeru kovinske plošče 350 mm.

Razvidno je, da eksploziv položen na vrh jeklene plošče proizvede najmanjši impulz na tarčo. Vidimo tudi, da večja kot je količina vlage v zemlji, večji je prenos impulza na tarčo. Pri zelo vlažni zemlji lahko opazimo 3-krat večji prenos impulza, kot bi se prenesel, če bi bila eksplozija na kovinski plošči. Opažamo tudi, da tipi zemlje in njihova zbitost nimajo velikega vpliva na prenos impulza (Bergeron & Tremblay, 2000, str. 508).

3.4 Oblika dna vozila

Geometrija vozila lahko ima usmerjevalni učinek, bodisi preusmeri učinke eksplozije stran od cilja, ali pa jih ujame in povzroči poškodbe zaradi povečanega nadtlača. Prvi, ki so začeli uporabljati princip oblike dna vozila, so bili južnoafriški oblikovalci vojaških vozil, ki so v poznih 70. letih prejšnjega stoletja začeli vključevati kote v spodnji del vozil in s tem ustvarili tako imenovano »V« obliko dna. Takšen primer je recimo vozilo Casspir (Slika 19). Testiranje s poševno ploščo na kotih med 0° in 30° stopinj so pokazala, da se obremenitev bistveno zmanjša, ko se poveča kot (Gupta & Skaggs, 2003).

Slika 19: Primer vozila s trikotnim dnom

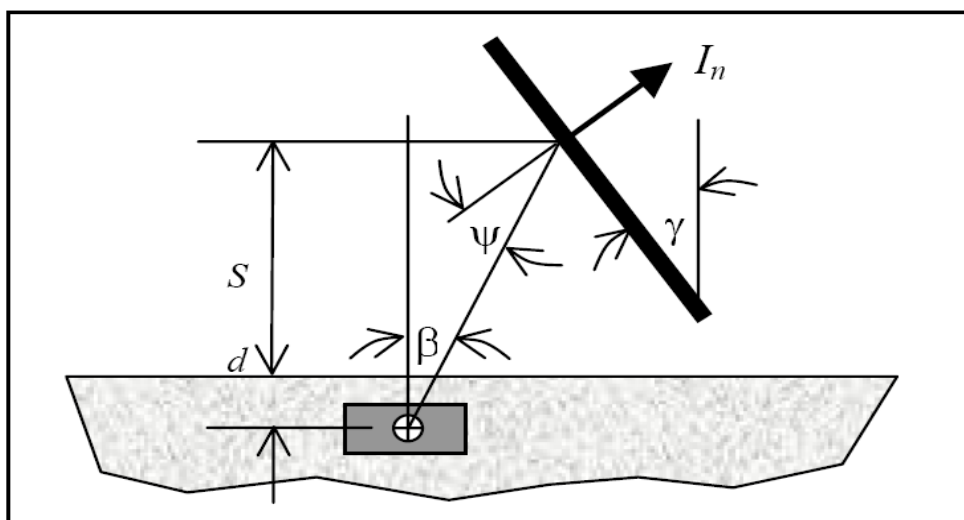


Vir: Genson, 2006, str. 15.

Celotni impulz, ki se posreduje na vozilo, je sestavljen iz obremenitev, ki jih povzročijo rezultati eksplozije mine ob udaru v dno vozila in iz obremenitev, ki jih povzročijo deli izmeta zemlje ob udarcu ob površino vozila. Z merjenjem impulzov na pravokotnih in poševnih testnih ploščah je ugotovljeno, da naj bi bil del, ki ga proizvede izmet zemlje bistveno večji kot del povzročen z udarnim valom.

Westine in ostali (1985) so leta 1985 izvajali teste s ploščami ter merili celotni impulz, ki ga je na ploščo predalo eksplozivno polnjenje vkopano v zemljo. Sam test ne poda podatkov o spremembi impulza v času, tako da ni mogoče opredeliti posamezne komponente (dela, ki ga prispevajo produkti eksplozije oziroma dela, ki ga prispeva izmet zemlje), podal pa je ugotovitev, da je velikost impulza odvisna predvsem od geometrijskih vrednosti, kot so višina plošče nad zemljo, globina vkopa mine. Ob izvedbi testa s ploščami, ki so bile nagnjene pod določenim kotom glede na površino zemlje, pa je ugotovljeno, da lahko celotni impulz dobimo s preprostim množenjem s kosinusi kotov normale plošče in kotom, ki ga ustvarja linija med mino in testno ploščo, kar prikazuje Slika 20 (Morris, 1993 v NATO, 2004a, str. C-23).

Slika 20: Model za izračun impulza pri poševni plošči



Vir: NATO, 2004a, str. C-23.

Formula za preračun impulza je:

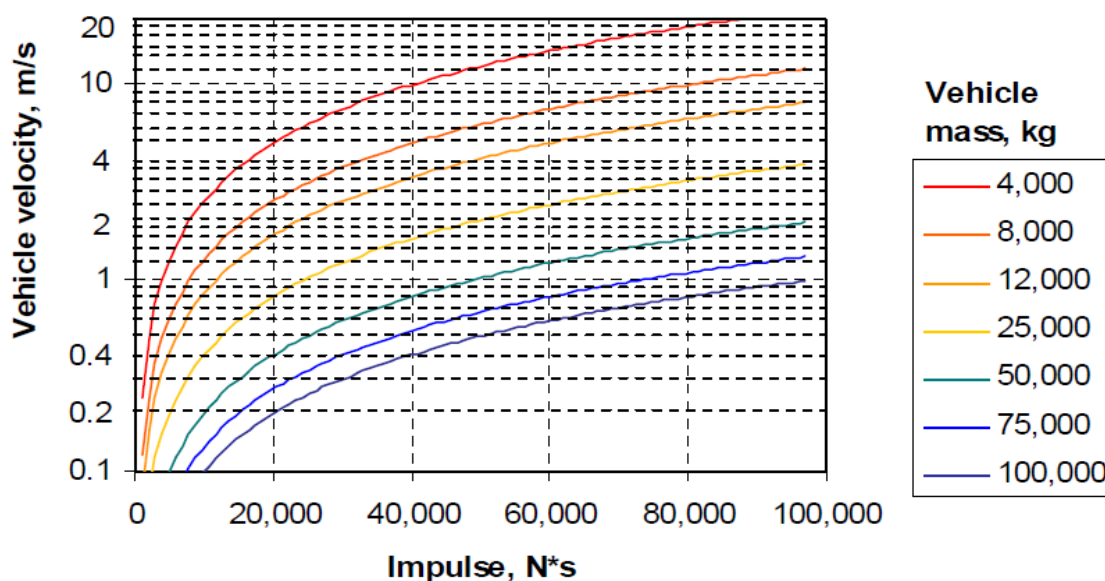
$$I_N = I_V \frac{\cos(\psi)}{\cos(\beta)} \quad (1)$$

Pri čemer je I_v impulz za pravokotno ploščo, ψ kot med pravokotnico na testno ploščo in linijo med centrom eksplozivnega telesa in testno ploščo ter kot β kot vertikalna projekcija razdalje mine do plošče. S pomočjo formule ugotovimo, da je lahko zmanjšanje celotnega impulza v primeru, da ima vozilo dno z nagibom 30° lahko tudi do 15 %.

3.5 Sistem sedeža z varnostnimi pasovi

Gibanje vozila (oziroma gibanje centra težišča vozila) je odvisno od količine energije, ki jo prenese udarni val in mase vozila. Večja in posledično težja vozila so manj odzivna oziroma vertikalni skok vozila je bistveno manjši kot pri manjših vozilih. Spodnja površina vozila (dno) bistveno ne vpliva k velikosti vertikalnega premika, saj tudi manjša vozila v realnosti prestrežejo večino udarnega vala in letečih ostankov (izmeta zemlje). Povečana višina do tal (klirens) pri večjih vozilih deluje pozitivno na zmanjševanje vertikalnega premika vozila, saj moč udarnega vala pada z razdaljo od mine. Na Sliki 21 lahko vidimo primerjavo med doseženo hitrostjo vertikalnega premikanja vozila v odvisnosti od sprejete energije (impulza) in mase vozila. Iz Slike 21 je razvidno, da v primeru primerjave vozila s težo 400 kg in 25.000 kg dobimo za lažje vozilo kar 6-krat večjo začetno hitrost vertikalnega premika.

Slika 21: Dosežene vertikalne hitrosti v odvisnosti od mase in začetnega impulza



Vir: McAndrew, 2007, str. 2.

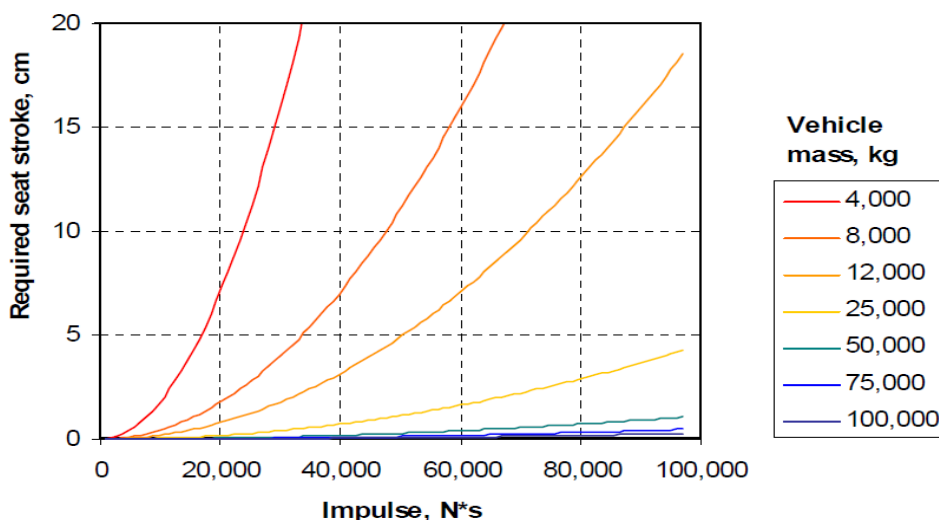
Hitrost prikazano na Sliki 21 lahko jemljemo, kot da se je prenesla na vozilo trenutno (sicer je to približek, vendar je dovolj dober za nadaljnje izračune). Za zaščito posadke pred ogromnim pospeškom je potrebno zagotoviti sedež, ki bo zmanjšal vrednosti pospeškov na še sprejemljivo raven. Sistem amortiziranja sil vgrajen v sedež mora zmanjšati razlike v hitrostih, pri čemer pa mora obremeniti vojaka s silami in pospeški pod dovoljeno ravnjo. Večja, kot je razdalja med sedežem in šasijo vozila, bolj postopen bo prenos pospeška, seveda pa primanjkljaj prostora znotraj vozila zahteva, da je razdalja med sedežem in šasijo vozil minimalna.

Razdalja potrebna za zagotovitev konstantnega pospeška pri amortizaciji prenosa sil med sedežem in šasijo vozila se lahko poda s formulo:

$$d = \frac{v^2}{2a}, \quad (2)$$

Pri čemer je d zahtevana razdalja amortizacije sedeža, a je predvideni pospešek in v je vertikalna hitrost s katero je vozilo poletelo v zrak ob detonaciji mine. Z upoštevanjem grafa na Sliki 21 (Dosežene vertikalne hitrosti v odvisnosti od mase in začetnega impulza) lahko izdelamo graf potrebnega amortiziranja sedeža v odvisnosti od teže vozila in impulza, ki ga vozilo prejme ob detonaciji mine (Slika 22).

Slika 22: Potrebno gibanje sedeža za zagotovitev stalnega pospeška 18 G



Vir: McAndrew, 2007, str. 3.

Opazimo lahko, da potrebna razdalja amortiziranja sil raste s kvadratom impulza oziroma pada s kvadratom mase vozila. Vidimo tudi, da je pri lažjih vozilih zagotovitev potrebne razdalje za uspešno amortizacijo impulza detonacije mine zelo zahtevno izvesti oziroma skoraj nemogoče.

Dovoljena vrednost obremenitev telesa s pospeškom je bila proučevana v različnih študijah (predvsem v zvezi z obremenitvami pilotov in katapultnimi sedeži za letala), prve omejitve so bile tako postavljene na največ 23 G in čas trajanja ne več kot 5,5 ms (Eiband, 1959, str. 29). Naknadno so bili dovoljeni časovni intervali na osnovi testov s sedeži helikopterjev povečani na 25 ms. Končna omejitev pa je bila postavljena na 25 G in 100 ms (DoD, 1998, str. 60), vendar je potrebno pri dovoljeni vrednosti omeniti, da velja za primer mladih moških, ki so pritrjeni z varnostnim pasom (McAndrew, 2007, str. 3).

Eden od sistemov zmanjševanja delovanja sil na vojaka je izdelava sedežev, ki absorbirajo energijo (Energy Absorbing Seat Mechanism – EASM). Sedež ublaži sile z absorbiranjem sil detonacije z elastičnim oziroma plastičnim deformiranjem ter s tem zmanjšanje velikosti impulza, ki doseže vojaka. Trenutno je glavni način zmanjševanja sil s pomočjo vzdolžnega tlačenja aluminijastih cevi sedeža, ki so pritrjene na jekleno ogrodje. V prihodnosti pa se pričakuje uporaba penastih materialov za ublažitev sil in zračnih blazin (Nilakantan, 2006, str. 132) oziroma uporaba sedežev, ki visijo na trakovih (Slika 23).

Slika 23: Moderni sedež za težka vojaška vozila



Vir: Autoflug Safety Systems, Inc., b. l.

3.6 Materiali

Eden od sistemov za zmanjševanje učinkov eksplozije mine je absorpcija energije. Preprost in poceni sistem, ki temelji na omenjenem principu je polnjenje pnevmatik z vodo. Polnjenje pnevmatik z vodo bistveno pripomore k minske zaščiti predvsem pri lažjih in srednje težkih vozilih.

Raziskave uporabe vode v pnevmatikah so pokazale, da princip zmanjšuje energijo s segrevanjem vode pri eksploziji in pretvorbo te v meglo in paro. Poleg tega študije kažejo, da voda, ki je težja od zraka, deluje kot deflektor ter udarni val usmeri stran od dna vozila in s tem tudi splošči tako imenovani stožec uničenja (Hlady, Bergeron & Gonzales, 2005, str. 1239).

O primeru uporabe vode v pnevmatikah ni narejenih vidnejših študij, ker je ugotovljeno, da voda v pnevmatikah zmanjšuje vozne lastnosti vozila in vpliva na hitrejšo obrabo pnevmatike. Namesto vode pa se v modernih vojaških vozilih uporablja vstavek za vožnjo s prazno pnevmatiko (Runflat Tyer, Slika 24), takšen vstavek naj bi zmanjšal sile, ki delujejo vertikalno na vozilo tudi za 200 % (Hlady, Bergeron & Gonzales, 2005).

Slika 24: Runflat vložek znotraj pnevmatike



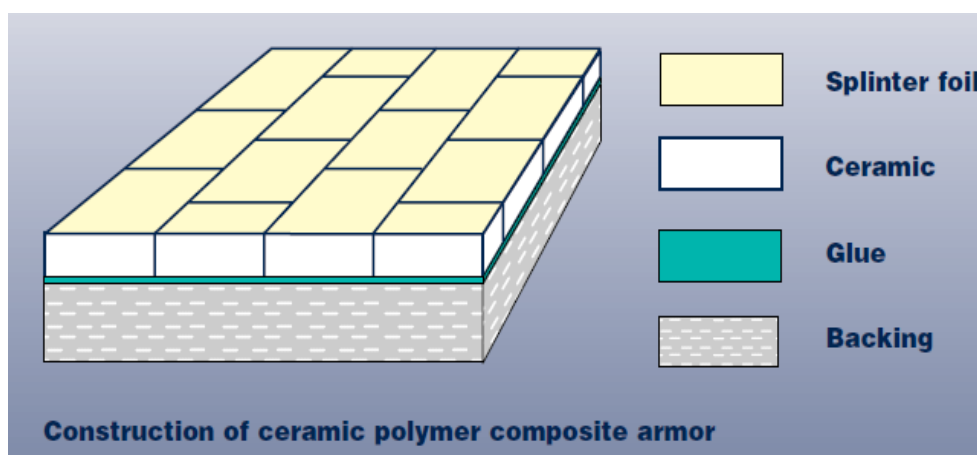
Vir: BDEC Limited, 2011.

Materiali, ki so se na začetku uporabljali za zaščito vozila so predvsem bazirali na jeklu, pri čemer je šlo za jekla visoke trdnosti. Z razvojem materialov se vedno bolj uporabljajo keramični materiali in kompozitni materiali. Trenutno pa se uporablja kombinacija posameznih materialov.

Na področju klasičnih oklepnih jekel gre razvoj predvsem v iskanje jekel s čim večjo trdoto in trdnostjo, trdota tako dosega vrednosti tudi do 640 HBW in trdnost 150 MPa. Eno od bolj znanih jekel je Armox (podjetja SSAB); takšno jeklo je vgrajeno tudi v vozila Slovenske vojske. Bistveni napredek na področju jekel se pričakuje v mikro strukturi jekla, saj se z zmanjšanjem mikro strukture tudi bistveno izboljšajo lastnosti jekla. Slaba stran balističnega jekla je njegova teža in pa težavno varjenje posameznih plošč zaradi velike vsebine legur.

Uporaba keramičnih materialov je sicer bolj pogosta pri izvedbi balistične zaščite, je pa v uporabi tudi pri izdelavi minske zaščite. Glavna lastnost keramike je njena velika trdota, slaba pa je, da jo ni mogoče izdelovati v zapletenih oblikah. Za keramično zaščito se uporabljajo različni materiali kot so: boron karbid, silicijev karbid, silicijev nitrit, alumina, aluminijev nitrid, najbolj uporabljen pa je alumina oziroma aluminijev oksid (Al_2O_3). Shematski primer keramične zaščite lahko vidimo na Sliki 25.

Slika 25: Keramična zaščita



Vir: Alotec, b. l.

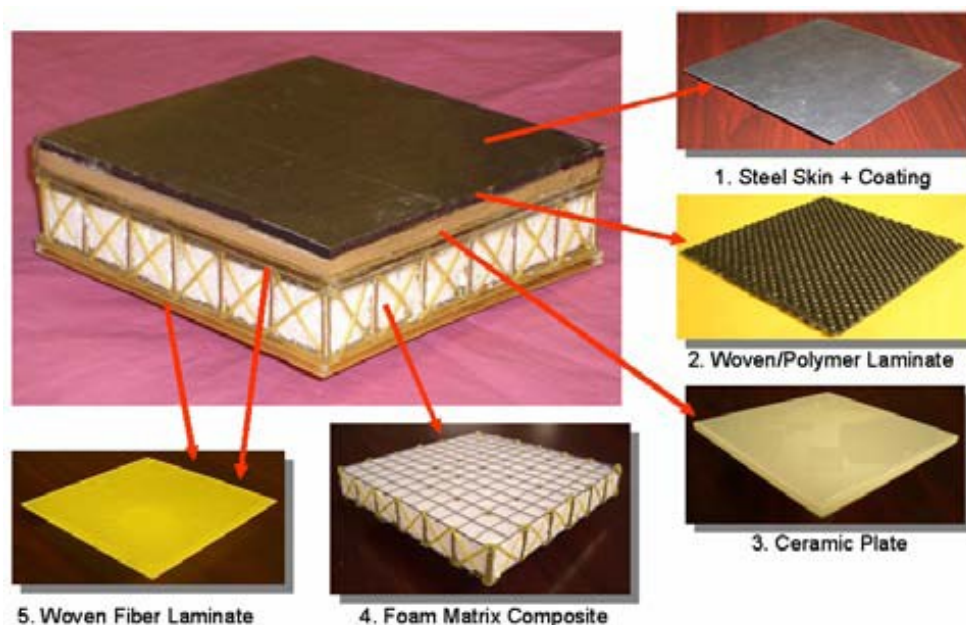
Prvotna uporaba keramičnih ploščic neposredno na šasijo vozila se je pokazala kot neprimerna, zato se sedaj uporablja večslojni sistem sestavljen iz keramike in mehke

podloge (backing). V primerjavi z jeklom je keramična zaščita bistveno dražja, posledično se večinoma uporablja samo na delih, ki so bolj obremenjeni oziroma v kombinaciji z ostalimi materiali.

Kompoziti so materiali, ki so sestavljeni iz dveh ali več komponent. Sestavljajo se iz različnih elementov, pri čemer se lastnosti posameznih komponent optimalno izkoriščajo. Značilnost kompozitov je, da njihove lastnosti presegajo lastnosti posameznih materialov zaradi njihovega medsebojnega vpliva v novo nastalem materialu.

V praksi je večina kompozitov sestavljena iz osnovnega materiala (matrice) in armature (utrditveni material), ki poveča trdnost in togost.

Slika 26: Moderni kompozitni material



Vir: Zheng-Dong et al., 2006, str. 6.

Primer modernih kompozitnih materialov, ki se koristijo za zaščito pred minami je prikazan na Sliki 26. Razvidno je, da je izdelan iz petih različnih materialov (jeklo, kovinska mreža, keramika, steklena vlakna ter kompozita iz mreže in specialne pene).

4 TESTIRANJE VOZIL

Dogajanja na bojiščih po 2. svetovni vojni so pokazala na eni strani hiter napredek orožja, tu predvsem mislimo na izboljšanje učinkovitosti PTM, in na drugi strani nove načine delovanja na vozilo. Če so v 2. svetovni vojni prevladovale PTM, ki so se aktivirale le, če je vozilo povozilo vžigalnik mine, imamo sedaj mine, ki delujejo tudi na dno vozila in se sprožijo, če je vozilo znotraj območja delovanja mine.

Razvoj PTM min je tako povzročil, da je bila zaščita oklepnih vozil nezadostna, saj ni bilo več dovolj imeti zaščitenega vozila v okolici koles vozila, temveč je potrebno izboljšati zaščito tako dna kot tudi bokov vozil. Še posebej se je pojavil problem zaščite s pojavom tako imenovanih IED min, ki delujejo predvsem na boke vozil. Pojav IED min in način gverilskega bojevanja je zahteval zaščito logističnih vozil. Vozila, kot so tovarnjaki in osebna terenska vozila, se večinoma nahajajo v zaledju bojev in je verjetnost naleta na PTM mino minimalna. Z gverilskim načinom bojevanja in uporabo IED min pa se je bojišče pomaknilo tudi v zaledje enot in pojavila se je potreba po vsaj minimalni zaščiti logističnih vozil.

Prvotne rešitve zaščite so bile priročne, večinoma narejene na terenu samem. Rezultati takšnih nadgradenj vozil so bili hitro jasni in večinoma neuspešni. Za uspešno zaščito logističnih in drugih vozil je bilo potrebno:

- ugotoviti kateri deli telesa so minam najbolj izpostavljeni in mehanizme, ki povzročijo poškodbe;
- ugotoviti mehanizme delovanja mine na vozilo in ugotoviti kako zmanjšati negativne učinke na posadko;
- določiti ustrezen standard, ki bo dovolj jasno predpisoval minimalne zahteve za ustrezno zaščito vozila.

Kakovostnih podatkov o poškodbah vojakov kot posledica naleta vozila ni bilo, prvi podatki so se pridobili z vojno v Rodeziji, rusko-afganistansko vojno, še več podatkov pa je bilo pridobljenih v vojni v Jugoslaviji in s prvo zalivsko vojno.

Ruske študije, ki so se ukvarjale s poškodbami, ki so jih dobili vojaki med vožnjo z oklepnimi vozili, ki so naletela na mino, so ugotovile, da so najpogostejše poškodbe na spodnjih okončinah, kar 63,6 %, sledijo poškodbe zgornjih okončin z 20,1 % in poškodbe hrbtenice s 13,5 % (Board Army Medical Department Center & School, Borden Institute Walter Reed Army Medical Center, 2004, str. 1.11). Žal je študija povezana samo s poškodbami kosti (zlomi) in ne opisuje vseh ostalih poškodb. Same poškodbe pa se nanašajo na poškodbe dobljene v Afganistanu.

Radonić in ostali (2004, str. 323) so izvedli oceno posledice 26 naletov na PTM, ki so se zgodile v času od 1991 do 1995 v južnem delu Hrvaške. V tem času je na PTM zapeljalo 15 civilnih vozil, 3 tovornjaki, 2 avtobusa, 2 terenski osebni vozili, 1 reševalno vozilo in 2 delovna stroja, nobeno od vozil ni bilo zaščiteno pred delovanjem min.

V nesrečah je bilo poškodovanih 42 oseb, 12 oseb (29 %) se je smrtno ponesrečilo. Najbolj pogoste so bile poškodbe glave 38 %, poškodbe okončin predstavljajo 38 % in poškodbe trupa 17 %. Ostale poškodbe predstavljajo 7 % vseh poškodb (Radonić et al., 2004, str. 322). Žal analiza poškodb ne navaja podatkov, koliko je bilo poškodb zgornjih in koliko spodnjih okončin.

Gondusky in drugi (2005, str. 547) so v svojem delu pregledali poškodbe, ki so jih dobili vojaki mehaniziranega bataljona v Iraku med zalivsko vojno. Enota, ki je bila opazovana je imela v svoji sestavi 75 vozil LAV III in večje število vozil Hummer ter tovornih vozil.

V časovnem obdobju šestih mesecev, od marca 2004 do avgusta 2004, so naleteli na 31 eksplozivnih teles, pri tem pa je bilo poškodovanih 115 vojakov. Od 31 min je bilo 10 PTM (31 %) in 21 IED naprav (65 %).

Najbolj pogoste poškodbe so bile poškodbe sluha in glave. Pri čemer so poškodbe sluha predstavljale 32 % vseh poškodb in poškodbe glave 16 %. Poškodbe okončin so predstavljale tretjo in četrto najbolj pogosto poškodbo, zgornje okončine 13 % in spodnje okončine 11 %. Večino od 11 % poškodb spodnjih okončin predstavljajo

poškodbe nog (9 % celotnih poškodb oziroma 10 poškodb) in le 2 % poškodbe zglobov (2 poškodbi).

Owen in ostali so preučevali poškodbe vojakov med operacijama Iraqi Freedom v Iraku in Enduring Freedom v Afganistanu. Skupaj je pregledano 1566 poškodb, kot glavne poškodbe so se okarakterizirale poškodbe okončin s 54 %, kot druga najbolj pogosta poškodba pa poškodbe glave (Owens et al., 2008, str. 297). Podatki sicer veljajo za vse vojake, vendar je odnos strelnih ran v celoti 18 % in poškodb dobljenih kot posledica eksplozije 78 %, zato lahko govorimo o primerljivih podatkih in so uvrščeni v tabelo z ostalimi podatki o poškodbah nastalih v vozilu.

Tabela 2: Pogostost poškodb

Poškodbe	Afganistan 1997–1998 (oklepna vozila)	Hrvaška 1991–1995 (civilna vozila)	Irak 2004 (oklepna vozila)	Afganistan, Irak 2001, 2004 (vojaki)
Glava	/	38 %	16 %	24 %
Sluh	/	/	32 %	3 %
Trup	16,2 %	17 %	11 %	17 %
Zgornje okončine	20,1 %	38 %	13 %	54 %
Spodnje okončine	63,6 %		11 %	
Ostale poškodbe	/	7 %	17 %	2 %

Vir: Board Army Medical Department Center & School, Borden Institute Walter Reed Army Medical Center, 2004, str. 1.11; Radonić et al., 2004, str. 322; Gondusky & Reiter, 2005, str. 547.

Tabela 2 prikazuje najbolj pogosta območja poškodb za udeležence v eksploziji mine z vozilom. Žal podatki niso popolnoma primerljivi, saj so podatki za Afganistan pridobljeni samo za poškodbe okostja (zlome), ni pa podatkov za druge poškodbe, ravno tako so podatki iz Hrvaške pridobljeni za civilna (nezaščitena) vozila. Lahko pa opazimo glavna področja, ki jih mora kakovostna minska zaščita vozila varovati. Kot glavno področje izstopajo poškodbe glave in vratu ter sluha. V primeru poškodb glave gre predvsem za poškodbe možganov oziroma zaradi naglega premikanja glave prihaja do poškodb vratu (vratnih vretenc). V primeru sluha pa gre predvsem za uporabo primerne zaščite sluha.

V nadaljevanju bomo ugotovili, da večino opaženih možnih poškodb standard pokrije, opazili pa bomo tudi, da del poškodb ni adekvatno pokrit s standardi.

4.1 Standardi

Pri postopku nabave vojaških vozil večina vojsk zahteva ustrezen certifikat za balistično in minsko zaščito, ki je izveden v neodvisnem testnem centru skladno z mednarodno predpisanimi standardi.

V praksi se trenutno uporabljata dva standarda, južnoafriški in NATO standard. Južna Afrika je svoj standard pričela uporabljati leta 2000 in od takrat je standard popravila 3-krat. NATO standard je bil predstavljen leta 2006 in je bil letos posodobljen. Poleg obeh najpogostejših standardov pa so bili oziroma so še v uporabi tudi interni standardi posameznih držav, TTCP standard (v uporabi v: ZDA, Veliki Britaniji, Avstraliji, Kanadi, Novi Zelandiji od leta 1996 in v Nemčiji od leta 1997) (Reinecke, b. l., str. 1).

RSA-MIL-STD-37

RSA-MIL-STD-37 je prvi standard povezan z minsko zaščito. Nastal je v Južnoafriški Republiki (JAR) leta 2000. Sam nastanek standarda je logična posledica večletnega bojevanja vojske JAR proti upornikom v Rodeziji, kjer so se masovno uporabljale protitankovske mine.

Vojska JAR je prva vozila, namensko grajena z vidika minske zaščite, pričela graditi v zgodnjih 70. letih. Testiranje minske zaščite pa se je izvajalo s pomočjo različnih mehanskih naprav; tako so se uporabljale posebne lutke »waterman«, ki so bile napolnjene z vodo in so se razpočile, če je nadtlak zaradi eksplozije mine prekoračil teoretično vrednost resne poškodbe za osebo oziroma so se uporabljali merilci tlakov »bikini gauges« za merjenje nadtlakov v prostoru posadke.

Z letom 1999 se pri testiranju pričnejo uporabljati testne lutke za testiranje prometnih nesreč »HYBDRID III«. Pričnejo se uporabljati kamere z veliko hitrostjo snemanja ter tabele za poškodbe, ki se uporabljajo pri testiranju nesreč letal in civilnih vozil.

Navedeni pripomočki so poenotili rezultate testov, seveda pa niso upoštevali vseh specifik testiranja minske zaščite, kot so: vrsta zemlje, vrsta mine, dimenzija mine, globina vkopa mine kot tudi pozicijo mine glede na težišče testiranega vozila.

Leta 2000 je bil sprejet vojaški standard RSA-MIL-STD 37, ki je upošteval vse specifikacije minske zaščite. Skladno s tem standardom je potrebno certificirati vsa vozila JAR, ki imajo minsko zaščito. Za izvajanje certificiranja minske zaščite je bila pooblaščenca neodvisna organizacija Council for Scientific and Industrial Research (CSIR) in Armscor – Agencija za nabavo vojaške opreme vojske JAR.

Standard RSA-MIL-STD 37 določa minsko zaščito vozila na osnovi sposobnosti preživetja posadke in sposobnosti popravila vozila ob detonaciji predpisane mine pod kolesom oziroma pod trupom vozila. Sposobnost preživetja posadke je preračunana na 10 % verjetnost poškodb velikosti AIS = 2 oziroma bolj poenostavljeno, merjene vrednosti sil ob detonaciji mine morajo biti manjše od predpisanih v Tabeli 3.

Tabela 3: Kriteriji dovoljenih poškodb RSA-MIL-STD 37

Lokacija	Kriterij poškodb	Mejne vrednosti za 10 % verjetnost AIS-2+	Zahtevane meritve
Glava	HIC (Head Injury Criteria)	HIC = 300	Senzor glave Ax, Ay in Az
Vrat	HYBRID III (Fz)	+Fz, -Fz	Vratni senzor Fz, My
Prsi	Hitrost premikanja prsi	Hitrost premikanja prsi < 3,6 m/s	Sprememba tlaka v času
Hrbtenica	DRI (Dynamic Response Index)	DRI < 18	Hrbtenica Az
Spodnje okončine	Vzdolžna sila na golenici	< 5,3 kN	Golenica Fz
Celotno telo	NFC (No fragment Criterion)	Brez poškodbe lutke in notranjosti s fragmenti	Brez fragmentov
	NLOC (No Loose Objects Criterion)	Brez poškodb prosto letečih delov na lutko ali notranjost	Video material

Vir: RMSS, 2005, str. 32.

Južnoafriški standard daje velik poudarek možnosti popravila vozila, tako se po vsakem testu izvede ocena popravljivosti vozila, ki se deli v tri kategorije (stopnje). Opis posameznih kategorij popravljivosti je v Tabeli 4.

Tabela 4: Stopnje popravljivosti vozila

Stopnja popravljivosti	Stopnja vzdrževanja	Enota	Popravilo	Delavnica
Lažja popravila (R-1)	1. stopnja	Bataljon	Odstranitev in menjava komponent, kot so kolesa in osi	Posadka vozila in terenski tim vzdrževalcev
Srednja popravila (R-2)	2. stopnja	Brigada	Zamenjava in popravilo komponent in podsistemov vozila ter osnovno varjenje	Terenska delavnica
Večja popravila (R-3)	3. stopnja	Enote nad nivojem brigade	Popravilo do 80 % vrednosti vozila, zamenjava motorja in pogonskega sklopa, varjenje balističnih plošč	Delavnica zaledne enote oziroma industrijska delavnica

Vir: RMSS, 2005, str 14.

Izkušnje v izdelavi vozil z minsko zaščito so privedle do potrebe, da se jasno definira kakšna mora biti minimalna testna platforma (vozilo), da bodo rezultati primerljivi z dejanskim vozilom. Tako obstajajo tri stopnje testnih platform, Tabela 5.

Tabela 5: Testne platforme

Platforma	Armscor	Industrija
Test plošč (TP-1)	/	/
Test šasije (TP-2)	Validacija rešitve	Razvoj vozila
Test celotnega vozila (TP-3)	Certificiranje vozila	Serijska proizvodnja vozila

Vir: RMSS, 2005, str. 15.

Pri platformah je potrebno poudariti, da samo platforma TP-3 (kompletno vozilo) zadovoljuje za potrditev ustreznosti minske zaščite. Ostali platformi (TP-1 in TP-2) pa sta namenjeni začetnim evaluacijam minske zaščite oziroma testiranju vzdržljivosti posameznih materialov.

NATO STANAG 4569

STANAG³ 4569 je bil prvič sprejet leta 2004 in je bil odgovor na zahteve po poenotenju balističnih in minske zaščite vozil v posameznih državah pripadnicah zveze NATO. Sam standard predpisuje stopnje zaščite, sami postopki testiranja in certificiranja ustreznosti zaščite pa so predpisani z drugimi dokumenti.

V svoji prvotni izdaji je imel v točki »Dogovor« poudarjeno, da gre za standard, ki zagotavlja 90 % zanesljivost zaščite posadke, točni postopki za izvedbo minskega testa pa niso bili v popolnosti definirani, zato so veljali kot vodilo pri izvedbi testov. Stopnje minske zaščite opredeljuje Priloga B standarda in jih deli na štiri stopnje (Tabela 6).

Tabela 6: Stopnje minske zaščite

Stopnja	Raven grožnje		
4	4b	Eksplozija mine pod centrom vozila	10 kg PTM
	4a	Eksplozija mine pod kolesom oziroma gosenico vozila	
3	3b	Eksplozija mine pod centrom vozila	8 kg PTM
	3a	Eksplozija mine pod kolesom oziroma gosenico vozila	
2	2b	Eksplozija mine pod centrom vozila	6 kg PTM
	2a	Eksplozija mine pod kolesom oziroma gosenico vozila	
1	Ročne bombe, neeksplozirano artilerijsko strelivo in ostala mala eksplozivna telesa, sprožena kjerkoli pod vozilom		

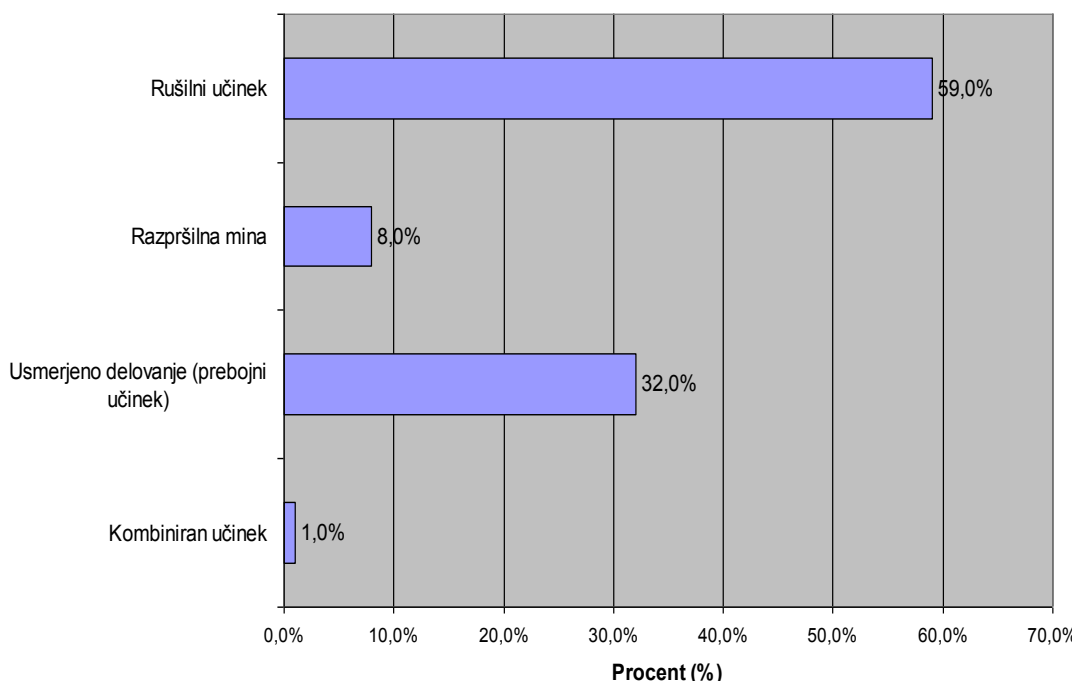
Vir: NATO, 2004b, str. B-1.

³ STANAG – NATO Standardization Agreement oziroma NATO sporazum o standardizaciji predstavlja dogovor o poenotenju: doktrin za delovanje, postopkov, tehnik kot tudi sredstev in tehničnih lastnosti teh, s ciljem boljšega sodelovanja med posameznimi vojskami znotraj vojaškega pakta NATO.

Izbira stopenj zaščite je bila narejena na osnovi statistike, ki je bila leta 2004 razpoložljiva, predvsem pa je bila povezana s povprečno količino eksploziva v PTM. PTM mine uporabljajo različno količino eksploziva. Količina je predvsem odvisna od načina delovanja mine in tipa eksploziva, ki ga uporablja. V večini primerov gre za uporabo TNT (Trinitrotoluene), RDX (Cyclonite) oziroma Kompozita B. Navedeni tipi eksploziva imajo različno rušilno moč, vendar se jih lahko s pretvornim koeficientom pretvori na skupni imenovalnik količine eksploziva TNT.

Ogorkiewicz (v Showichen, 2008, str. 25) ocenjuje, da je v primeru naleta vozila na PTM približno 80 % verjetnosti, da bo ta klasična PTM z rušilnim učinkom. Dogodki v Iraku in Afganistanu kažejo, da se količina PTM min na osnovi rušilnega učinka zmanjšuje, še vedno pa predstavljajo 59 % celotnega števila min (Ogorkiewicz, 2003, str. 25) in še vedno predstavljajo najbolj običajno grožnjo logističnim vozilom (Slika 27).

Slika 27: Mine in princip delovanja

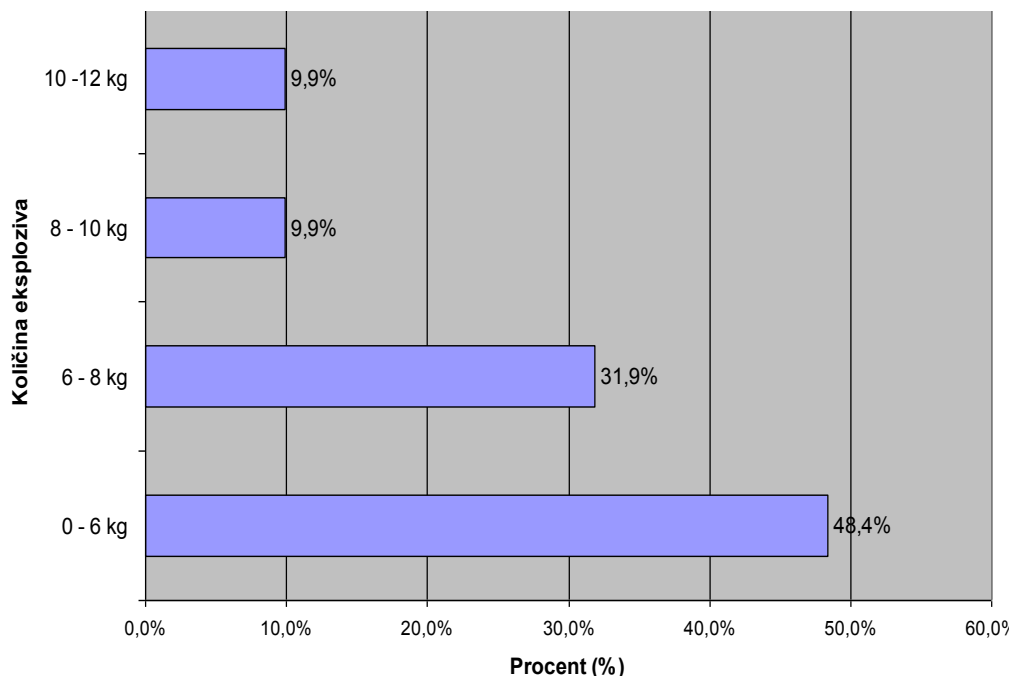


Vir: Showichen, 2008, str. 19.

Showichen je leta 2008 v raziskavi pregledal celotno paleto PTM in prišel do naslednjih ugotovitev. Za 168 min, ki so bile v uporabi v različnih vojskah leta 2008 je ugotovil, da je povprečna vrednost eksplozivnega polnjenja v PTM mini 6,13 kg, manj kot 10 % min

ima eksplozivno polnjenje večje od 10 kg. Za najbolj pogosto vrsto min (rušilno) pa je povprečna količina eksplozivnega polnjenja 6,66 kg TNT.

Slika 28: Mine in princip delovanja



Vir: Showichen, 2008, str. 20.

Razvidno je, da je število min z več kot 10 kg eksploziva relativno majhno, poleg tega so mine z večjo količino eksploziva velike in težke, zato sta posledično transport in njihova uporaba težja (Showichen, 2008, str. 26).

Iz predstavljenega lahko vidimo, da je izbira štirih stopenj balistične zaščite usklajena z grožnjami, ki jih mine predstavljajo. Prva stopnja zaščite je vezana na grožnjo, ki jo lahko vozilo predstavlja pehotni vojak, ročna bomba oziroma je zaščiteno pred grožnjo, ki jo predstavljajo različna neeksplozirana telesa, ki bi jih lahko vozilo povozilo.

Drugo stopnjo predstavlja zaščita vozil pred približno 50 % vseh PTM, ki delujejo na rušilnem principu. Tretja stopnja (3a in 3b) ščiti pred 80 % PTM z rušilnim delovanjem. Četrta stopnja pa pokriva preostalih 20 %, pri čemer se predvideva, da je možnost naleta na mine z več kot 10 kg eksploziva minimalna.

Trenutno NATO standard 4569 ne predvideva višje zaščite kot je stopnja 4. Zaščito pred minami s prebojnim delovanjem (Penetrator Mines) oziroma pred eksplozivnimi napravami s specialno oblikovano obliko eksplozivnega polnjenja (Shaped Charges) standard ne opredeljuje, temveč jo opredeljuje dokument AEP-55, bolj natančno zvezek III in IV.

AEP-55 vol. II

AEP-55 zvezek 2, izdaja 1, je bil izdan maja 2006 in je v osnovi podoben RSA-MIL-STD 37. Razlog za podobnost med obema standardoma je v dejstvu, da je delovna skupina NATO, ki je pripravljala standard, sodelovala tako s CSIR kot tudi z Armscor-jem, še več, delovna skupina je sodelovala na tečaju RSA-MIL-STD 37 v JAR, kjer je tudi pridobila dodatne dokumente in informacije.

Celotni postopek testiranja je primerljiv z RSA-MIL-STD 37, razlikuje pa se v posameznih detajlih. V primeru južnoafriškega standarda je zahteva, da se po izvedenem testu izdelava ocena poškodb na vozilu in določi ena od treh stopenj popravljivosti, za standard AP-55 pa se to ne predvideva, temveč je samo zahteva, da se po izvedenem minskem testu izvede pregled vseh poškodb na vozilu in izvede popis teh.

Za uspešno izveden test skladno s standardom mora vozilo zadovoljiti naslednje kriterije:

- sile na posadko morajo biti pod predpisanimi vrednostmi;
- ni dovoljen preboj šasije oziroma dna vozila, ki bi lahko dovolil vstop udarnemu valu mine oziroma izmetu zemlje v vozilo;
- ni indikacij potencialnih poškodb posadke kot posledice prosto letočih delov vozila ali opreme znotraj vozila.

AEP-55 vol. III

AEP-55 vol. III je namenjen nadgradnji AEP-55 vol. II. Predvsem vojni v Iraku in Afganistanu sta pokazali, da sodobne operacije ne slonijo več na klasičnih bitkah dveh enakopravnih vojsk. Namesto tega je vedno več gverilskih napadov in uporabe doma

narejenih min (IED min). Ker drugi zvezek ne pokriva IED mine je namen tretjega zvezka, da predpiše način testiranja in protokol za oceno poškodb.

V primerjavi s PTM minami, ki delujejo predvsem na kolesa (gosenice) in dno vozila, so lahko IED mine postavljene tako, da delujejo praktično iz vseh možnih smeri (slika 29).

Slika 29: Možne smeri napada IED min



Vir: NATO, 2011b, str. 27.

Možnost delovanja IED mine iz vseh strani pomeni tudi drugačne obremenitve na posadko ter zahtevo po postavitvi dodatnih kriterijev ocene poškodb posadke.

V primerjavi z EAP-55 vol. II je v tretjem zvezku predvideno, da se za testiranje vozil na eksplozijo mine pod vozilom, pred ali za vozilom uporablja še naprej testna lutka Hybrid III 50th ATD, medtem ko se za primer napada mine z bokov raje uporablja testna lutka EuroSid-2re 50th ATD. Testna lutka EuroSid-2re 50th ATD ima boljše lastnosti pri bočnih udarcih v telo ter omogoča merjenje nadtlaka, kar Hybrid III 50th ne omogoča (NATO, 2011b, str. 46).

5 AEP-55 VOL. II

Države članice NATA za določanje minske zaščite posameznega logističnega vojaškega vozila uporabljajo standard (STANAG) 4569. Postopek, kako se izvede test in verificira ustreznost vozila, pa je opisana v publikaciji AEP-55 vol. II.

5.1 Postopek in pogoji testiranja

AEP-55 zahteva izvedbo testa z dejanskim vozilom, kar v praksi pomeni, da se postavi vozilo na mino (velikost mine je skladna zahtevi: 6, 8 ali 10 kg). Pred proženjem mine morajo biti izpolnjene vse zahteve opredeljene znotraj standarda, kot so: oprema vozila, število testnih lutk, ustrezni senzorji za merjenje sil, kamere z visoko hitrostjo snemanja in drugo. Slika 30 prikazuje izvedbo testa v sami fazi detonacije. Lahko opazimo podatkovne vode, ki prihajajo iz senzorjev testne lutke in kamer znotraj vozila ter prenašajo sliko in podatke o obremenitvah znotraj vozila na računalnik.

Slika 30: Vozilo MRAP med izvedbo testa



Vir: Hansen, b. l., str. 3.

Test temelji na zahtevi po 90 % zaščiti posadke vozila ob specifični stopnji zaščite (stopnja zaščite 1, 2, 3 ali 4). Čeprav je AEP-55 zelo jasen glede izvedbe testa, postopka

in opreme, ki je potrebna, pa pušča precej možnosti in opcij, ki jih je potrebno opredeliti pred izvedbo testa.

Postopek testiranja

Postopek testiranja je namenjena dogovoru med izvajalcem testiranja, izdelovalcem vozila in uporabnikom vozila. Gre za določitev dogovora o posameznih korakih testiranja (ali se bodo posamezni neobvezni koraki preskočili ali ne).

Postopek testiranja je sestavljena iz štirih korakov:

1. korak: Definicija testnega načrta

Pred začetkom izvedbe testa minske zaščite je potrebno izdelati jasen in natančen testni načrt, ki bo usklajen in bo upošteval zahteve nacionalne avtoritete.

2. korak: Test ustreznosti rešitve

Korak je opcijski, v domeni zahtev nacionalne avtoritete. Test je namenjen preverjanju ustreznosti rešitve minske zaščite. Izvaja se na delu vozila (samo dno vozila ali izsek vozila s pripadajočim dnem vozila oziroma školjka vozila brez opreme). Test ni obvezen, vendar če je določen v prvem koraku, mora biti uspešno izveden.

3. korak: Minski test vozila

Test se izvaja na celotnem in popolnoma opremljenem vozilu. Glede na začetno zahtevo stopnje zaščite, se temu primerno izvede test pod kolesom in test pod trupom vozila. Ustreznost zaščite je potrjena, če so vsi kriteriji uspešnosti ustrezni.

4. korak: Ocena minske zaščite nad zahtevano

Korak je opcijski, v domeni zahtev nacionalne avtoritete. Namenjen je oceni sposobnosti vozila v primeru, da na njega deluje mina z večjo rušilno močjo kot je certificirano vozilo. Test se izvede pod enakimi pogoji kot v koraku 3, vendar se uporablja za eno stopnjo močnejše eksplozivno polnjenje mine.

Pogoji testiranja

Če pogledamo zahteve testa, lahko vidimo, da so zahteve naslednje:

- testno vozilo mora biti predstavnik tipičnega vozila, ki ga testiramo (z drugimi besedami, če testiramo vozilo, ki se izdeluje v več izvedbah, se testira tipično najštevilčnejše vozilo);
- vozilo naj bi bilo opremljeno z vso opremo, ki je predvidena za operativno uporabo;
- mina se postavlja na dve lokaciji (pod trup vozila in pod kolo), lokacija posamezne mine je izbrana glede na najbolj nevarni scenarij;
- v testu se bo uporabljala najmanj ena testna lutka, lokacija testne lutke je izbrana glede na najbolj nevarni scenarij.

Vsi navedeni pogoji so odvisni od verzije vozila, posledično je potrebno soglasje med izvajalcem testa, izdelovalcem vozila in uporabnikom vozila. Spoznanja o tem, kateri pogoji so najbolj ustrezni, se posredujejo uporabniku; ne samo ustreznost vozila (ali je ustrezno ali ne), temveč se posredujejo tudi uporabni podatki glede same zaščite vozila in kašne bodo poškodbe ob morebitni realni situaciji v boju.

5.2 Kriteriji uspešnosti

Kriterij, ki jih mora vozilo izpolniti, da se potrdi ustreznost minske zaščite, so naslednji:

- sile na posadko morajo biti pod predpisanimi vrednostmi (Tabela 7);
- ni dovoljen preboj šasije oziroma dna vozila, ki bi lahko dovolil vstop udarnemu valu mine oziroma izmetu zemlje v vozilo;
- ni indikacij potencialnih poškodb posadke kot posledice prosto letečih delov vozila ali opreme znotraj vozila;
- sedeži in pripadajoči varnostni pasovi morajo zadovoljevati naslednje kriterije:
 - zagotovilo, da je vojak varno pritrjen v sedežu;
 - zagotovilo, da je sedež primerno pritrjen na vozilo (tako pred kot tudi po eksploziji).

Preboj školjke vozila

Preboj školjke vozila se ocenjuje po izvedbi testa z vizualnim ogledom dna oziroma celotnega vozila. V primeru, da pride do preboja, se to manifestira v manjših ali večjih deformacijah dna (Slika 31). Na sliki je razviden preboj školjke ob dejanskem naletu vozila na mino. V primeru testiranja se pričakuje bistveno manjše poškodbe oziroma bo sam preboj školjke težje opazen.

Slika 31: Slika vozila pred in po preboju školjke vozila



Vir: Villanueva López, 2010, str. 8.

Pod prebojem školjke vozila se razume tako preboj zaradi udarnega vala eksplozije kot tudi zaradi delov vozila (deli kolesa, podvozja, motorja ...), ki bi lahko prebili šasijo.

Potrebno je pripomniti, da je zahteva standarda AEP-55 level II predvidena za prostor z vojaki (posadkovni del) in se zahteva ne nanaša na del vozila z motorjem oziroma prostore za shrambo opreme.

Sile na testno lutko

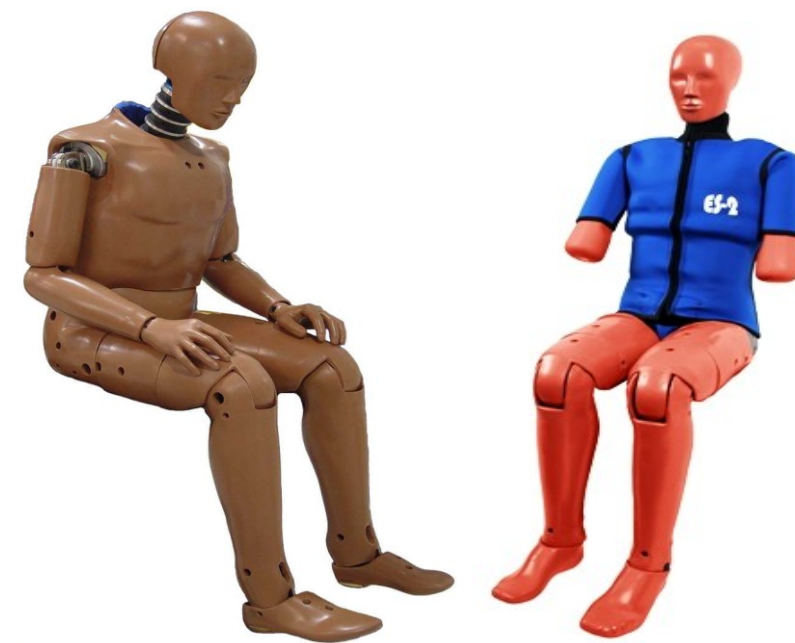
Za izvedbo testiranja se uporabljajo identične testne lutke kot v primeru testiranja trkov cestnih vozil. V svetu je kar nekaj proizvajalcev testnih lutk, ki se med seboj razlikujejo po številu in lokaciji senzorjev ter natančnosti. V primeru vojaškega standarda se uporablja testna lutka Hybrid III 50th ATD (Slika 32). Navedena lutka je bila izbrana,

ker je najbolj razširjena (uporablja se tako v avtomobilski industriji, vojaških testih in tudi v letalski industriji). Poleg tega je za to lutko največ testnih podatkov in primerjav med poškodbami na lutki in dejanskimi poškodbami ponesrečencev.

Testna lutka Hybrid III 50th ATD je bila prvotno razvita s strani tovarne General Motors z namenom testiranja čelnih trkov vozil, kar pomeni, da ni optimalna za teste minske zaščite vojaških vozil. Ugotovljeno je, da senzorji za obremenitve na golenici ne prikazujejo ustrezne vrednosti in so umerjeni na prevelike vrednosti sil. Na osnovi testov se tako za potrebe vojaških testov uporabljajo testne noge Mil-LX.

S pojavo IED min se je spremenila smer napada, medtem ko klasične mine delujejo predvsem od spodaj (so vkopane v tla), pa se IED mine postavljajo bočno (delujejo na bok vozila). Zaradi neprimernosti lutke Hybrid III za merjenje bočnih obremenitev, se za teste s postavitvijo mine bočno na vozilo uporablja lutka ES-2er.

Slika 32: Testni lutki Hybrid III 50th Male in ES-2er



Vir: Humanetics Innovative Solutions, b. l.

Kot je omenjeno v točki 5.2, je eden od kriterijev, da so sile na posadko pod predpisanimi vrednostmi (Tabela 7).

Tabela 7: Ocena poškodb za testno lutko Hybrid III 50th ATD

Lokacija	Kriterij poškodb	Meritve	Dovoljene vrednosti
Glava	HIC (Head Injury Criteria)	HIC ₁₅	250
Vrat	kompresijska obremenitev	-Fz	4.0 kN pri 0 ms 1.1 kN nad 30 ms
	raztezna obremenitev	+Fz	3.3 kN pri 0 ms 2.8 kN pri 35 ms 1.1 kN nad 45 ms
	strižna sila	Fx+- / Fy+-	3.1 kN pri 0 ms 1.5kN pri 25-35 ms 1.1 kN nad 45 ms
	moment (flexion)	Mocy +	190 Nm
	moment (extension)	Mocy -	77 Nm
	Prsi	premik prsi	TCC
kriterij viskoznosti		VC	0.70 m/s
Hrbtenica	DRI (Dynamic Response Index)	DRI _z	17.7
Stegno	vzdolžna sila	Fz-	6.9 kN
Golen	vzdolžna sila	Fz-	2.6 kN (Mil-LX)
			5.4 kN (HIII)

Vir: NATO, 2011a, str F-3.

Sekundarne poškodbe

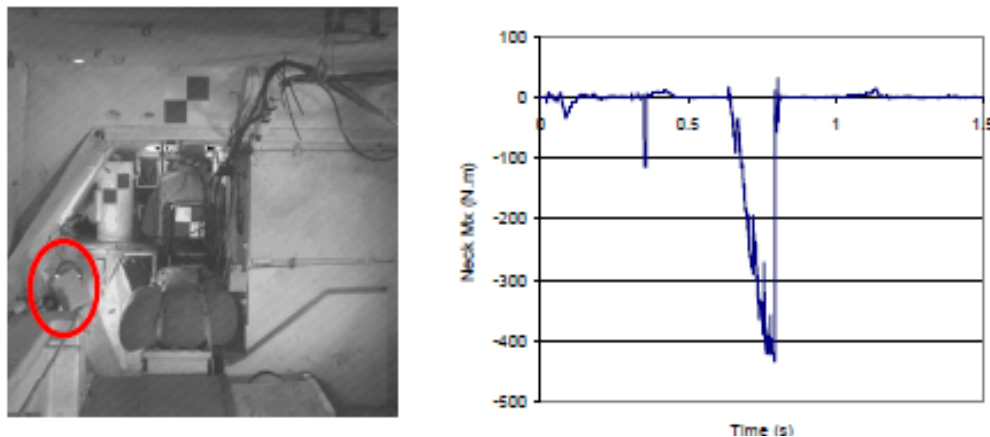
Ob naletu vozila na mino pride do delovanja eksplozije na vozilo in procesov, ki smo jih opisali v predhodnih poglavjih. Vendar to niso vsi mehanizmi, ki lahko poškodujejo posadko.

Sekundarne poškodbe nastanejo kot posledica delovanja mine na vozilo in jih lahko delimo na tri skupine:

- poškodbe zaradi udarcev vojaka v stene in/ali opremo vozila;
- poškodbe zaradi nepritrjene opreme in oborožitve;
- poškodbe zaradi delov vozila, ki se lahko odlomijo (odprejo, odtrgajo...) od notranjosti vozila.

Zahteva standarda je, da znotraj prostora za posadko ni indikacij o potencialno nevarnih sekundarnih fragmentih vključujoč prosto letečo opremo.

Slika 33: Mesto gasilnega aparata in sil, ki so nastale na testni lutki



Vir: NATO, 2007, str. D-2.

Na Sliki 33 lahko vidimo primer ročnega gasilnega aparata (rdeči krog), ki je ob izvedbi testa poletel in udari v testno lutko. Meritev momenta je bila 420 Nm. Kljub temu da so vse ostale vrednosti znotraj predpisanih, bi bil v tem primeru test neuspešen.

Sama zahteva standarda je precej nejasna, saj govori o potencialno nevarnih objektih. Ugotavlja pa se s pomočjo kamere visoke hitrosti, ki se nahaja znotraj testnega vozila in ob pregledu vozila po končanem testu.

5.3 Kriteriji poškodb in tolerančni nivoji

ATP-55 uporablja za oceno možnih poškodb sistem definicije kriterijev poškodb in tolerančne kriterije za posamezno poškodbo. Pod definicijo kriterijev poškodb razume parametre ali funkcije posameznih parametrov, ki so povezani s posamezno poškodbo (meritve sil in momentov pri minskem testu). Tolerančni kriterij pa predstavlja zgornjo sprejemljivo vrednost za vsak posamezen kriterij poškodbe.

Pogoj za uspešno vzpostavitev tolerančnega kriterija je uporaba poškodbene lestvice. Poškodbena lestvica je enostavno obrazloženo številčna lestvica vrste in resnosti poškodbe. V primeru protiminske zaščite logističnih vozil se tako uporablja

Abbreviated Injury Scale (AIS). Sama lestvica AIS je bila prvotno namenjena za oceno poškodb pri nesrečah z vozili, z dopolnjevanjem podatkov pa se vse bolj uporablja tudi v druge namene (Tabela 8).

Tabela 8: AIS lestvica poškodb

AIS	Opis poškodbe
0	brez poškodb
1	meja poškodbe (površinske rane, udarnine, bolečine v mišicah)
2	zmerne do srednje težke
3	težke, vendar ne življenjsko nevarne poškodbe, ki pri medicinski oskrbi omogočajo preživetje
4	težke poškodbe, ki so lahko življenjsko nevarne, vendar jih je večinoma mogoče preživeti
5	kritične, življenjsko nevarne poškodbe z vprašljivo možnostjo preživetja, preživetje brez zdravniške pomoči ni možno
6	najtežje poškodbe brez možnosti preživetja
9	nedefinirane poškodbe

Vir: NATO, 2011a, str 3-3.

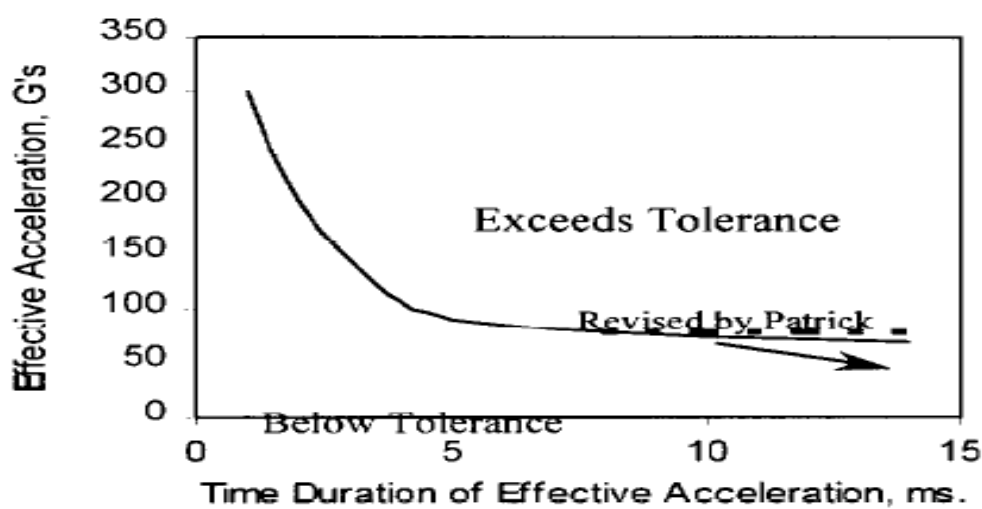
Lestvica se deli na šest stopenj, od 1. stopnje, ki predstavlja manjše poškodbe pa do 6. stopnje, ki predstavlja poškodbe, ki jih trenutno še ne znamo zdraviti.

Poškodbeni kriterij glave (HIC)

Pri poškodbi glave najpogosteje govorimo o poškodbi možganov, kjer gre predvsem za poškodbe, ki nastanejo zaradi strižnih in nateznih sil. Sile, ki delujejo na možgane je izredno težko meriti. Modeli, ki ocenjujejo poškodbe glave se v večini primerov naslanjajo na poškodbe lobanje kot indikatorja poškodb možganov. Najbolj pogost model, ki ocenjuje poškodbe možganov je Head Injury Criteria (HIC) model. Model sta razvila Mert in Prasad leta 1997 in je namenjen avtomobilski industriji. Sam model temelji na oceni poškodbe lobanje in na osnovi tega se določijo poškodbe možganov; model pa je narejen za poškodbe, ki nastanejo kot posledica čelnega trka.

Velikost poškodb možganov je odvisna od velikosti pospeška, ki je deloval na možgane in velikosti časa delovanja. Človek lahko preživi obremenitev 200 g, če ta deluje manj kot 2 ms. Na drugi strani pa obremenitev 80 g, ki deluje 200 ms, ne preživi. S testiranjem je Lissner leta 1960 izdelal prvo krivuljo (Wayne State Tolerance Curve), ki opredeljuje dovoljene pospeške glave glede na dolžino delovanja obremenitve (Slika 34), kasneje je bila krivulja še dopolnjena.

Slika 34: Wayne State Tolerance Curve



Vir: NATO, 1999, str. K2-2.

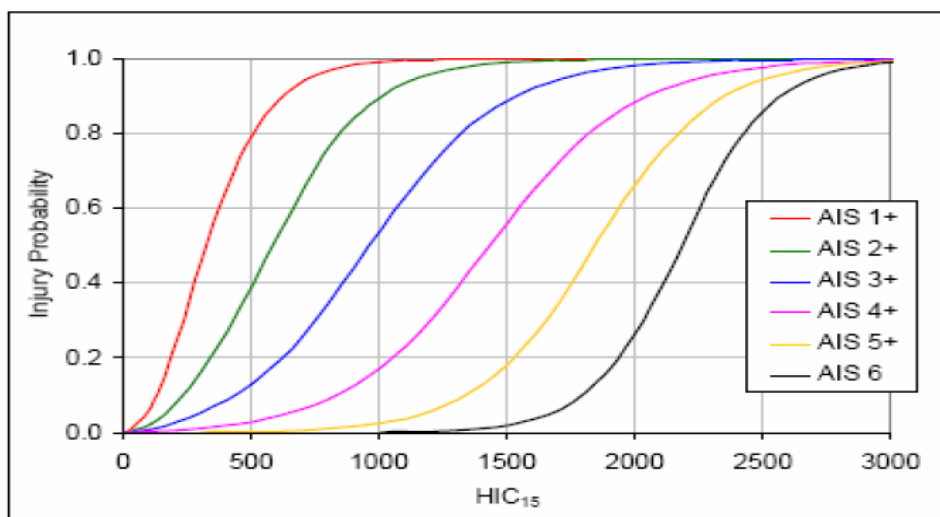
Na osnovi krivulje je bila izdelana formula za merjenje poškodb možganov oziroma model HIC:

$$HIC_{\Delta t_{\max}} = \max_{t_1, t_2} \left\{ \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \right\} \quad (3)$$

Pri čemer je $t_2 - t_1$ časovni interval in a maksimalni pospešek, ki je deloval na glavo. Prvotno so kot največjo dovoljeno vrednost predvideli 1000 HIC, računal pa se je za celotni čas delovanja pospeška. Novejše raziskave pa so čas zmanjšale najprej na 36 ms in dovoljeno vrednost HIC 1000, končna vrednost določena leta 2010 pa je HIC 700 (velja od 6 let starega otroka naprej) in časovni interval 15 ms (McHenry, 2004, str. 5). Navedene vrednosti veljajo za avtomobilsko industrijo.

V primeru NATO standarda 4569 oziroma AEP-55 je maksimalna dovoljena vrednost za HIC zmanjšana na vrednost 250. V sami literaturi ni razbrati razlogov zakaj se je NATO odločil za vrednost 250 HIC, lahko pa iz Slike 35 ugotovimo, da je to vrednost pri kateri je krivulja za AIS 2 pri 10 % verjetnosti poškodbe.

Slika 35: Krivulja tveganj poškodb za HIC



Vir: NATO, 2011a, str. E-22.

V Tabeli 9 lahko primerjamo čase potrebne za ozdravitev dobljene poškodbe v primeru poškodb glave. Za primer poškodbe velikosti AIS 2 je povprečni čas od 4 do 6 tednov oziroma 1 mesec.

Tabela 9: Poškodbe glave in časi okrevanj

Primer poškodbe	AIS	Okrevanje	Možnost invalidnosti
počena lobanja	2	4–6 tednov	mala
pretres možganov	2	1 mesec	mala
poškodba možganov (udarnina)	3	3 mesece	mala–srednja
komPLICIRAN ali odprt zlom lobanje	4	3 mesece +	srednja
krvavitev v možganih	4	3 mesece +	srednja–velika
poškodba možganskega debla	5	3 mesece +	velika

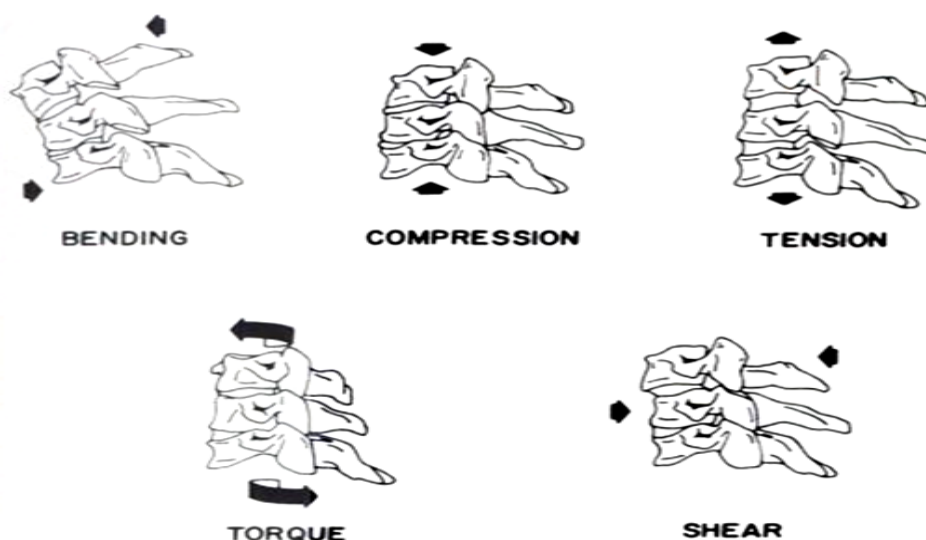
Vir: NATO, 2007, str. C-4.

Kot smo omenili, je kriterij za poškodbo glave prevzet iz avtomobilske industrije in posledično ni optimalen. Tudi v literaturi se večkrat pojavljajo opombe, da navedeni model (HIC) upošteva samo poškodbe, ki nastanejo kot posledica čelnega trka, ne upošteva pa poškodb, ki lahko nastanejo zaradi strižnih oziroma bočnih sil na glavo.

Poškodbeni kriterij vratu

Vratna hrbtenica (cervical spine) je najpomembnejši del vratu, sestavljena je iz 7 vretenc in povezuje glavo s preostankom hrbtenice. Sam vrat omogoča premikanje glave v vse smeri kot tudi njeno rotacijo. Sile, ki lahko delujejo na vrat (vratno hrbtenico) so prikazane na Sliki 36. V primeru, da te sile presežejo dovoljeno vrednosti, lahko pride do poškodbe posameznega vretenca in poškodbe hrbtenjače, ki v večini primerov predstavlja zelo težko poškodbo oziroma smrt.

Slika 36: Obremenitve na vratna vretenca



Vir: McElhaney et al., 2002, str. 331.

Pri naletu vozila na PTM mino je zelo težko oceniti, katere obremenitve se bodo pojavile, saj je to povezano s točno lokacijo mesta eksplozije pod vozilom, mestom posameznega člana posadke znotraj vozila, tipom in geometrijo vozil, lego vratu v trenutku eksplozije in smerjo premikanja posameznega člana posadke med samim dogodkom eksplozije mine.

Dosedanje raziskave, tako v avtomobilski industriji kot na področju eksplozij mine, so pokazale, da so najbolj nevarne naslednje obremenitve oziroma gibanja:

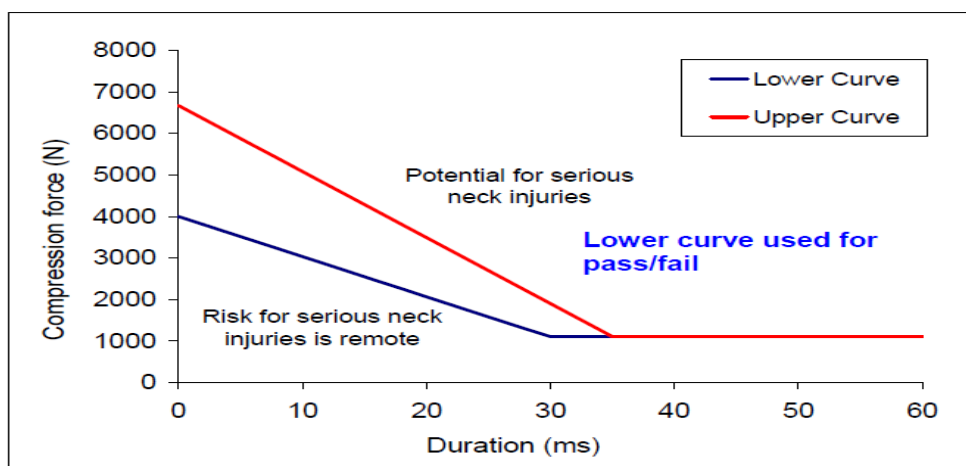
- vertikalna kompresija;
- upogib naprej;
- upogib nazaj;
- stranski upogib.

V primerjavi z avtomobilsko industrijo in trki vozil, kjer večinoma nastajajo poškodbe povezane z upogibi vratu, pa je v primeru naleta vozila na mino glavni dejavnik poškodb vertikalna kompresija vratu in udarci z glavo ob strop vozila. V primeru udarca glave v strop vozila pa so obremenitve, ki delujejo na vrat veliko bolj kompleksne in bodo verjetno zajemale vse štiri obremenitve. Zaradi drugačnih obremenitev vratu je uporaba avtomobilskega modela ocenjevanja poškodb (Nij – Neck Injury Criterion) v našem primeru neprimerna. Namesto tega je izdelan kriterij poškodb na osnovi treh najbolj pogostih obremenitev:

- vertikalnih kompresijskih in razteznih obremenitev;
- upogibnih obremenitev;
- strižnih obremenitev.

Z vertikalnimi kompresijskimi obremenitvami se je podrobneje ukvarjal Mertz (NATO, 2007, str. 3–18). Na osnovi testov z igralci ameriškega nogometa sta nastali dve tolerančni krivulji poškodb za oceno morebitne poškodbe vratu (Slika 37).

Slika 37: Tolerančna krivulja za kompresijsko obremenitev vratu

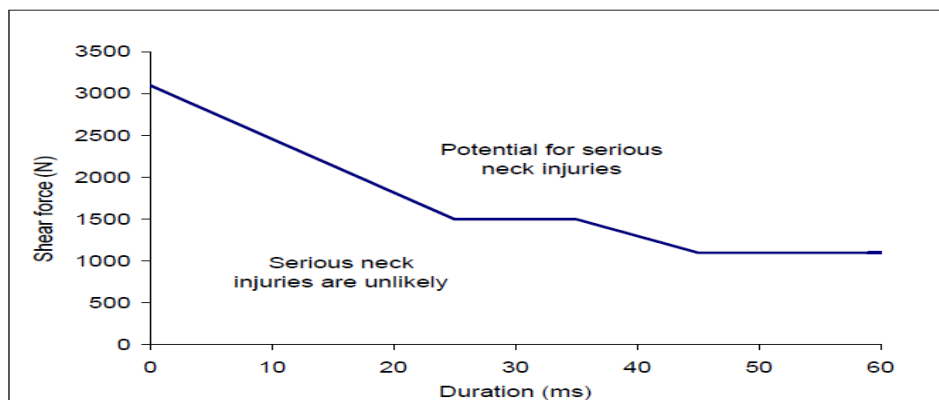


Vir: NATO, 2011a, str. E-22.

V primeru, da se izmerjene sile nahajajo pod modro krivuljo, se ne pričakuje poškodbe vratu in obratno v primeru, da se izmerjene vrednosti nahajajo nad modro in rdečo krivuljo, obstajajo možnosti za resno poškodbo vratu. Potrebno je poudariti, da je krivulja narejena za velikost resne poškodbe oziroma poškodbe velikosti AIS 3 ali večje.

Podobno kot z vertikalno kompresijsko obremenitvijo se je Mertz ukvarjal z ostalimi obremenitvami. Tako je leta 1984 predlagal tolerančne poškodbene krivulje tudi za strižne in raztezne obremenitve (Slika 38).

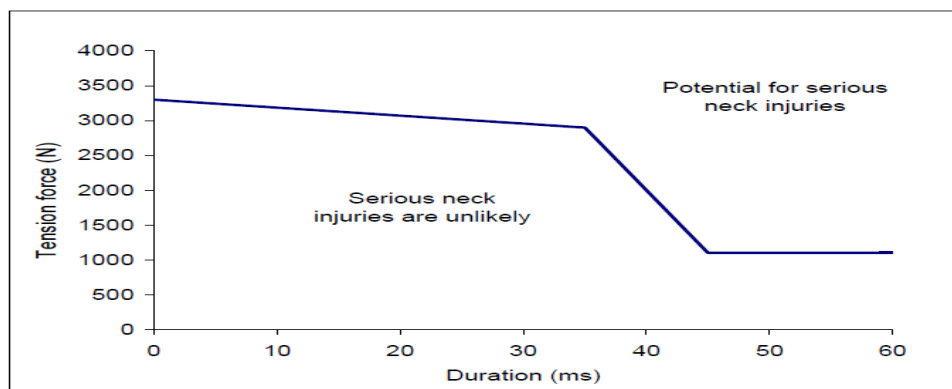
Slika 38: Tolerančna krivulja za strižne obremenitve zgornjega dela vratu



Vir: NATO, 2011a, str. E-23.

Strižne sile nastanejo na vratu pri naglem premikanju glave naprej oziroma nazaj kot posledica naglega ustavljanja vozila, istočasno pa se pojavljajo tudi raztezne obremenitve vratu (Slika 39).

Slika 39: Tolerančna krivulja za raztezne obremenitve zgornjega dela vratu



Vir: NATO, 2011a, str. E-23.

Tudi v tem primeru govorimo o krivulji narejeni za velikost resne poškodbe oziroma poškodbe velikosti AIS 3 ali večje.

Upogibne obremenitve se merijo s pomočjo momentov. V primeru avtomobilske industrije se uporabljajo vrednosti MOC (Total Moment about the Occipital Condyle), merijo pa se za momente v smeri naprej/nazaj kot tudi za moment pri nagibu vratu levo/desno. Standard AEP-55 povzema isto metodologijo, vendar uporablja samo merjenje momentov naprej/nazaj. Meri se po naslednji formuli:

$$M_{OCy} = M_y - (d \bullet F_x) \quad (4)$$

M_{OCy} – Moment v y-smeri [Nm] v točki spoja glave in vratu

F_x – Strižna sila [N] na mestu merjenja

M_y – Moment v smeri y [Nm] izmerjen v točki senzorja

d – Razdalja [m] med lokacijo senzorja in točko spoja glave in vratu

Standard dovoljuje maksimalno še dovoljeno vrednost za upogib naprej (flexion) na 190 Nm in maksimalno vrednost za upogib glave nazaj 57 Nm. Krivulja tveganj poškodb za upogibne obremenitve ne obstajajo, lahko pa jemljemo, da so vrednosti v rangu AIS 2 (NATO, 2007, str. 3–20).

Če pogledamo dovoljene sile in momente ter njihovo vrednost iz lestvice poškodb, lahko v Tabeli 10 opazimo, da bi dovoljene poškodbe pomenile čas zdravljenja od 1 do 4 mesecev.

Tabela 10: Poškodbe hrbtenice in časi okrevanj

Primer poškodbe	AIS	Okrevanje	Možnost invalidnosti
zvin	1	2–3 tedne	nizka
izpah	2	1–3 mesece	nizka–srednja
zlom vretenca	2	1.5–4 mesece	nizka–srednja
udarnina hrbtenjače	3	3 mesece +	srednja–velika
delna poškodba hrbtenjače	4	3 mesece +	velika

Primer poškodbe	AIS	Okrevanje	Možnost invalidnosti
poškodba hrbtenjače	5	6 mesecev +	velika
zlom vretenca – nestabilni	5	3 mesece +	srednja–velika

Vir: NATO, 2007, str. C-4.

Poškodbeni kriterij hrbtenice (DRIZ Model)

Poškodbe hrbtenice so pri eksploziji mine najbolj pogoste poškodbe poleg poškodb nog. Same poškodbe nastanejo kot posledica delovanja aksialnih sil in zaradi prenosa udarnega vala preko šasije vozila in sedeža neposredno na hrbtenico.

Stech in Payne sta leta 1969 za merjenje morebitnih poškodb hrbtenice določila model, ki preko indeksa DRI (Dynamic Response Index) določa stopnjo možnih poškodb. Model DRI simulira delovanje hrbtenice s sistemom enomasnega sistema vzmetenja z blažilcem. Formula za izračun je:

$$\ddot{z}(t) = \ddot{\delta} + 2 \cdot \zeta \cdot \omega_n \cdot \dot{\delta} + \omega_n^2 \cdot \delta \quad (5)$$

$\ddot{z}(t)$ – pospešek v vertikalni smeri [m/s²]

$\delta = \xi_1 - \xi_2$ – kompresija sistema

$\zeta = \frac{c}{2 \cdot m \cdot \omega_n}$ – blažilni koeficient (0.224)

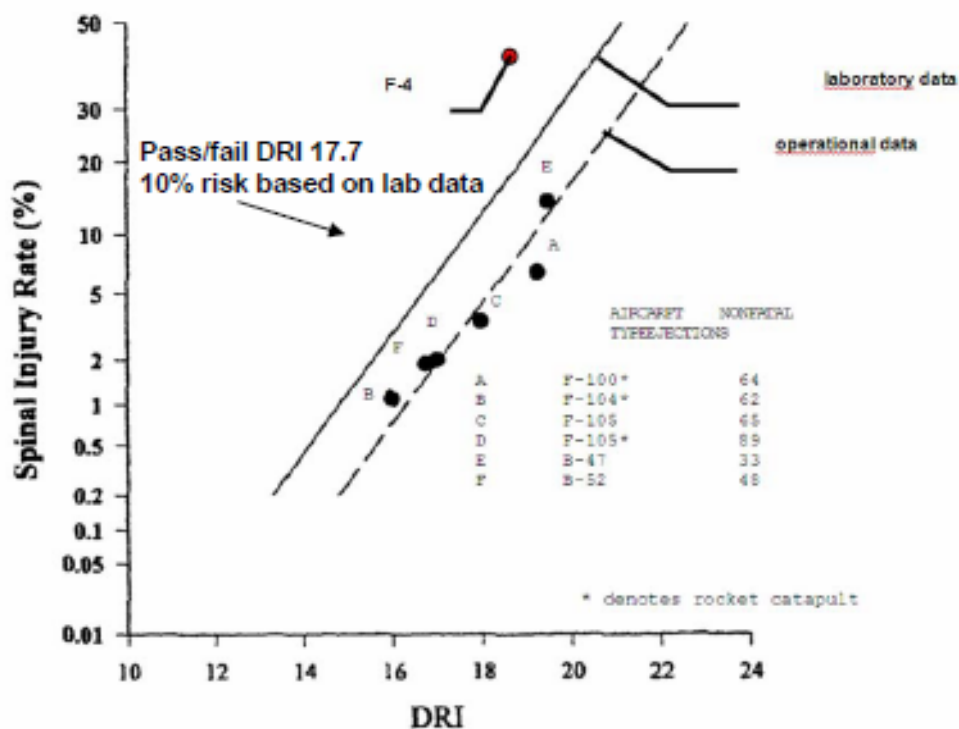
$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ – frekvenca (52.9 rad/s)

Sam DRI indeks pa predstavlja kriterij dovoljene kompresije hrbtenice. Izračuna se po formuli:

$$DRIz = \frac{\omega_n^2 \cdot \delta_{\max}}{g} \quad (6)$$

Skozi čas so se vrednosti za ω in δ dopolnjevale. Sami podatki pa so bili pridobljeni iz testov s katapultnimi sedeži v vojaških letalih. Končno krivuljo verjetnosti poškodb je izdelal Brinkley leta 1970 (Slika 40) in vsebuje teoretično krivuljo ter podatke dobljene s testi na katapultnih sedežih. V primeru zahteve po 10 % riziku poškodbe tako dobimo vrednost DRI 17,7.

Slika 40: Krivulja verjetnosti poškodbe hrbtenice



Vir: NATO, 2011a, str. E-24.

Indeks DRI je, kot smo omenili, izračunan za potrebe letalstva oziroma bolj natančno za določanje poškodb v primeru izstrelitve s katapultnim sedežem, zato njegova uporaba pri računanju poškodb posadke v vojaških vozilih ni optimalna. Poleg tega je ugotovljeno, da na indeks precej vpliva vrsta sedeža in mesto pritrditve tega na vozilo (pritrditev na dno vozil oziroma strop vozila bistveno spremeni prenos sil iz vozila na vojaka).

Poškodbe notranjih organov

Mehanizme za poškodbe notranjih organov pri naletu vozila na mino lahko delimo na:

- naglo povečanje tlaka ob eksploziji (udarni val), ki povzroči stiskanje prsnega koša;

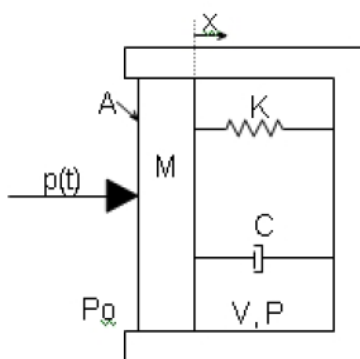
- stiskanje prsnega koša kot posledica gibanja telesa in zadrževanje tega s sistemom varnostnih pasov.

Poškodbe povezane z udarnim valom ne nastanejo, če ni preboja trupa vozila in ni neposrednega delovanja udarnega vala na posadko, vendar pa je vseeno potrebno preveriti možnost poškodb, saj lahko kljub vsemu pride do povečanja tlaka v vozilu.

Napoved hitrosti gibanja prsnega koša (The Chest Wall Velocity Predictor)

Axelsson in Yelverton (Axelsson, 1996, str. 31–37 v NATO, 2007) sta leta 1996 predlagala model, ki s pomočjo hitrosti premikanja prsnega koša določa možnosti poškodb notranjih organov. Model deluje na principu poenostavitve pljuč s cilindrom z enomasnim sistemom z vzmetjo in blažilcem (Slika 41).

Slika 41: Matematični model pljuč



A is the effective area;
 M is the effective mass;
 V is the initial gaseous volume of the lungs;
 x is the displacement;
 C is the damper coefficient;
 K is the spring constant;
 P_0 is the ambient pressure;
 $p(t)$ is the overpressure over the time; and
 γ is the polytropic exponent for gas in lungs.

Vir: NATO, 2007, str. 3/26.

Formula za model je naslednja:

$$M \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + C \cdot \frac{dx}{dt} + K \cdot x = A \cdot \left[p(t) + P_0 - \left(\frac{V}{V - A \cdot x} \right)^\gamma \cdot P_0 \right] \quad (7)$$

Na osnovi testiranj izvedenih z ovcami sta prišla do lestvice poškodb, pri čemer se upošteva podatke za odraslo osebo teže 70 kg.

Tabela 11: Lestvica poškodb v odvisnosti od hitrosti premikanja prsnega koša

Poškodba	ASII (-)	V (m/s)	AIS
brez poškodb	0.0–0.2	0.0–3.6	0
meja poškodbe do zmerno	0.2–1.0	3.6–7.5	1–4
zmerne do srednje težke poškodbe	0.3–1.9	4.3–9.8	2–4
težke do kritične poškodbe	1.0–7.1	7.5–16.9	3–5
smrtnost preko 50 %	> 3.6	> 12.8	do 6

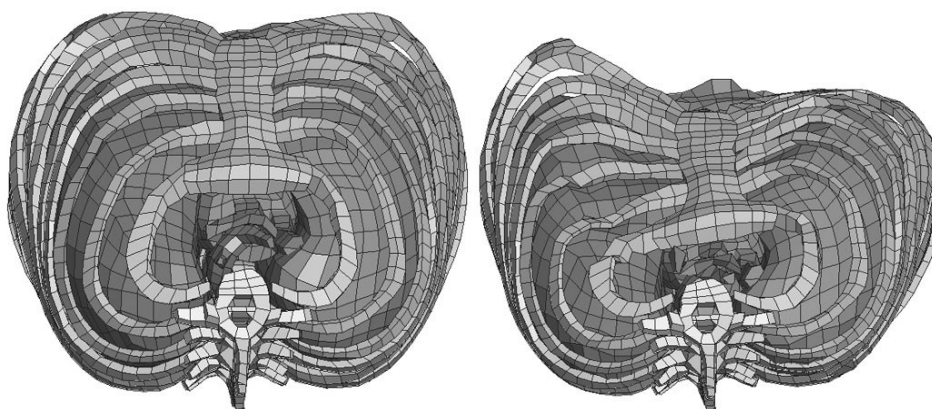
Vir: NATO, 2007, str. 3/28.

Iz Tabele 11 je razvidno, da hitrosti večje od 3,6 m/s lahko povzročijo poškodbe velikosti od AIS 1 do AIS 4. Glede na osnovno zahtevo standarda, da zagotavlja več kot 90 % verjetnost poškodb manjših od AIS 2, je logično, da je omejitev hitrosti sprejeta na 3,6 m/s.

Kriterij deformacije prsnega koša (Thoracic Compression Criterio – frontal)

Napoved hitrosti gibanja prsnega koša (CWVP) je namenjena za oceno poškodbe kot posledice naglo povečanega tlaka ob eksploziji; ne upošteva pa poškodb, ki lahko nastanejo ob stiskanju prsnega koša. Stiskanje prsnega koša nastane ob udarcu tega ob topi objekt oziroma bolj običajno pri zatezanju varnostnega pasu okoli trebuha (spodnji varnostni pas) oziroma ob zatezanju pasu okoli prsnega koša (zgornji varnostni pas) ali pa ob sprožitvi varnostne blazine. V primeru naleta na mino so dominantne sile navzgor in zategovanje zgornjih varnostnih pasov (Slika 42).

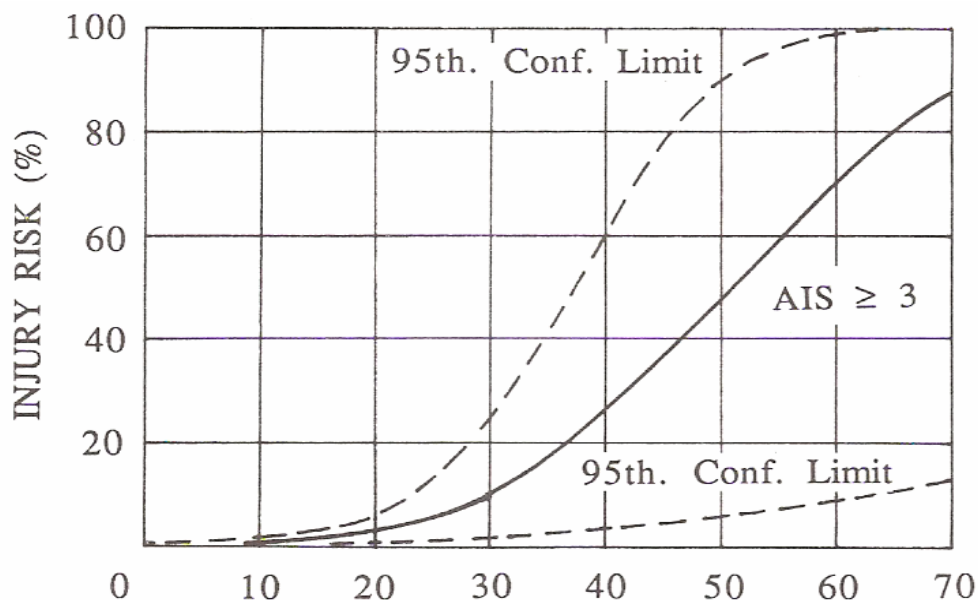
Slika 42: Kompresija prsnega koša zaradi delovanja varnostnega pasu



Vir: Čihalova & Hynčik, 2008, str. 249.

Kriterij kompresije prsnega koša (TCC frontal) je merjen med prsnico (grodnico) in hrbtenico, meri se v milimetrih. V primeru, da pride do stiskanja prsnega koša preko 30 mm je velika verjetnost poškodb velikosti AIS 3 ali več (Slika 43).

Slika 43: Krivulja poškodb za stisk prsi



Vir: NATO, 2011a, str. E-24.

Standard določa, da je dovoljena kompresija do 30 mm, pri čemer je verjetnost poškodbe AIS 3 10 %. Tudi v tem primeru lahko ugotovimo, da je zahteva po AIS 2 zamenjana z AIS 3.

Kriterij hitrosti deformacije prsnega koša (Viscous Criterion – Frontal)

S testiranjem je ugotovljeno, da kriterij deformacije ni zadosten in da je poleg velikosti kompresije pomembna tudi hitrost s katero se to zgodi (Viano & King, 2000, str. 4). Ko se organi, ki so polni tekočine, stiskajo počasi, lahko absorbirajo energijo brez poškodb, v primeru hitre obremenitve pa se organi ne morejo deformirati dovolj hitro in lahko pride do trganja tkiva organa, četudi ni prišlo do bistvene deformacije organa in so bile sile manjše kot v primeru počasne obremenitve.

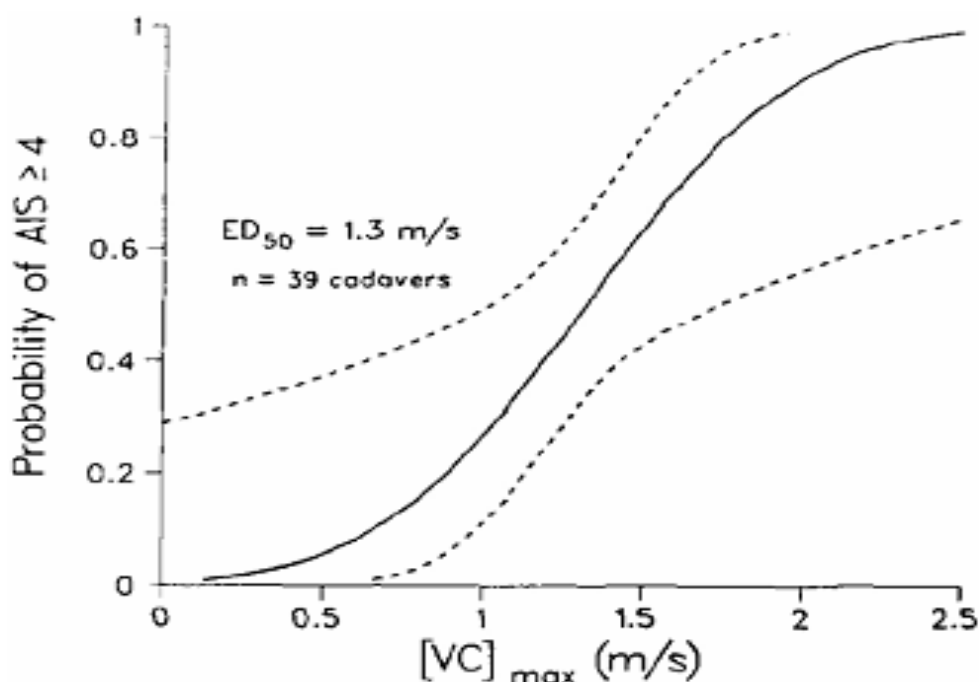
Za oceno morebitnih poškodb povezanih s hitrostjo obremenjevanja se uporablja kriterij hitrosti kompresije (VC), poznan tudi kot kriterij viskoznosti, meri se v m/s. Formula za izračun je naslednja:

$$VC = \text{scalingfactor} \cdot \frac{D_{CFC180}}{Defkonst} \cdot \frac{dD_{CFC180}}{dt} \quad (8)$$

D_{CFC180}	– deformacija prsnega koša [m]
dD_{CFC180}/dt	– hitrost deformacije
scaling factor	– koeficient
Defkonst	– ATD konstanta (povezana z dimenzijo ATD lutke)

Hitrost kompresije se meri za čelni udarec (deformacija prsnega koša) oziroma bočni udarec (deformacija reber). Dovoljena vrednost je VC je 0,70 m/s, kar predstavlja 10 % verjetnost nastanka poškodbe AIS 4 (Slika 44).

Slika 44: Krivulja poškodb za prsi



Vir: NATO, 2011a, str. E-24.

Za razliko od ostalih kriterijev, kjer je zahteva po 90 % verjetnosti poškodb manjših od AIS 2, je tu zahteva bistveno nižja, saj se nanaša na AIS 4.

Če primerjamo kriterije poškodb za notranje organe s časi okrevanj (Tabela 12), je razvidno, da lahko ob minimalni izpolnitvi vseh treh kriterijev pričakujemo čas okrevanj med 1 in 3 meseci.

Tabela 12: Poškodbe nastale zaradi nadtlaka in časi okrevanj

Primer poškodbe	AIS	Okrevanje	Možnost invalidnosti
počen ušesni bobnič	1	4–6 tednov	nizka
poškodbe stremena, nakovala, kladičca	1	1–3 mesecev	srednja–velika
poškodba slušnega polža	1	1–3 mesecev	srednja–velika
sapnik (manjša ekhimoza)	2	1 mesec	nizka–srednja
poškodba črevesja (udarnina)	3–4	2–3 mesece	srednja
raztrganje vranice	3	1–3 mesecev	nizka–srednja
poškodba pljuč (eno krilo)	3	4–6 tednov	srednja
raztrganje jeter	4	2–3 mesecev	velika
poškodba pljuč (obe krili)	4	4–6 tednov	srednja–velika
hemotoraks	?	4–6 tednov	srednja–velika
pnevmotoraks	?	4–6 tednov	srednja
poškodba črevesja z razlitjem	5	2–3 mesecev	srednja–velika

Vir: NATO, 2007, str. C-4.

Iz Tabele 12 je razvidno, da NATO standard nima kriterija za poškodbo sluha. Kot vidimo, se poškodbe sluha tretirajo kot AIS 1 poškodbe, torej pod predpisano stopnjo poškodb za standard.

Poškodbe spodnjih udov

Poškodbe spodnjih udov delimo na poškodbe zgornjega dela nog in poškodbe spodnjega dela nog.

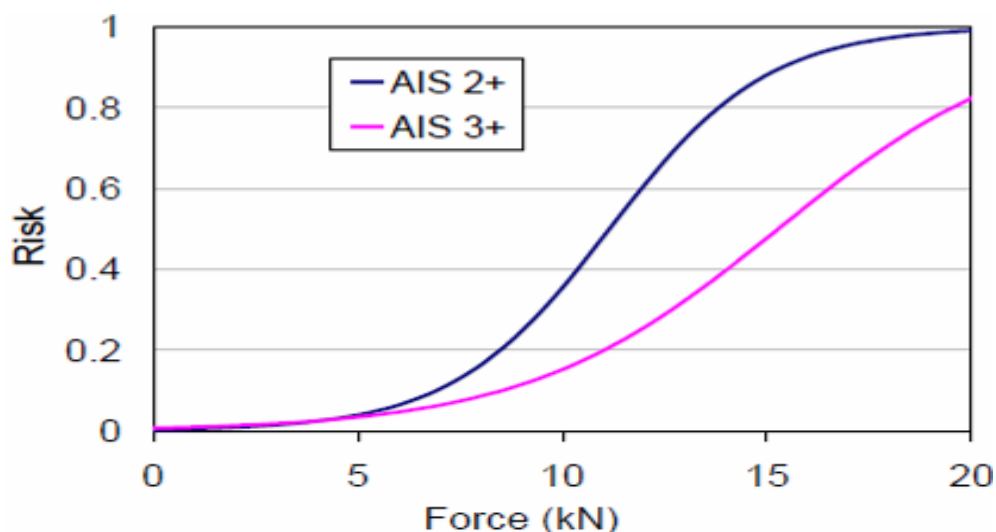
Osna sila v stegnu (Upper leg axial compression force)

V primeru osne sile v stegnu se merijo sile, ki nastanejo znotraj golenice (aksialne sile). Če sile presegajo dovoljene vrednosti, lahko pride do lomljenja golenice oziroma do poškodb arterije in krvavenja. Različni viri predlagajo različne dovoljene vrednosti obremenitve golenice, tako Horst predlaga 8.000 N, Wayne State University predlaga 10.000 N in Department of Army ameriške vojske določa, da sila ne sme preseči 9.074

N v 10 ms intervalu oziroma 7.562 N za vse ostale intervale (Tabiei & Nilakantan, 2007, 52).

V primeru minske zaščite se koristi vrednost, ki je 6.900 N, kar predstavlja 10 % možnosti poškodb AIS 2 (Slika 45).

Slika 45: Krivulja poškodb za zgornji del nog



Vir: NATO, 2011a, str. E-26.

Potrebno je dodati, da kriterija poškodb aksialne kompresijske sile stegna ni bilo v originalnem protokolu testiranj iz leta 2006, temveč se je vstavil v standard leta 2011 na osnovi izkušenj iz Iraka in Afganistana.

Osna tlačna sila v goleni (Lower leg axial compression force)

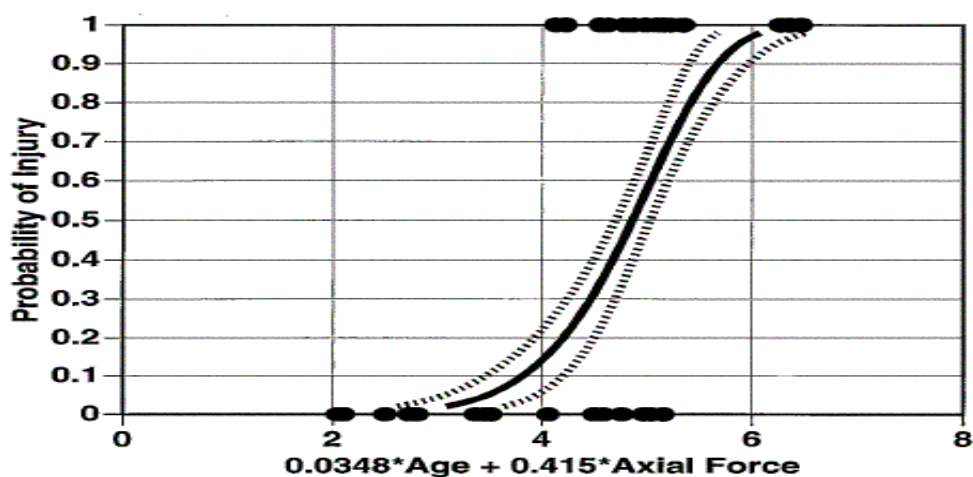
Pri eksploziji mine pod vozilom lahko pride do premikanja strukture na kateri se nahaja stopalo (dno vozila, voznikova pedala, nasloni za noge ...); lokalna dinamična deformacija omenjenih elementov prenese precejšnje vertikalne sile na spodnji del noge. V svojem delu »Protection of lower limbs against floor impact in army vehicles experiencing landmine explosion« Wang in ostali ugotavljajo, da je povprečna hitrost premikanja plošč dna vozila ob eksploziji PTM mine 12 m/s in pospešek 100 g (Wang et al., 2001, str. 8).

Poškodbe spodnjega dela nog se manifestirajo predvsem v zlomih zglobov, zlomih golenice in piščali ter pogosto petnice (Funk et al., 2002, str. 750–757), poškodbe spodnjega dela nog so vse v kategoriji poškodb AIS 2 ali AIS 3 in niso življenjsko nevarne. Pri poškodbah kosti je potrebno dodati, da ima na verjetnost zloma velik vpliv mineralna sestava kosti in gostota, ki pa je povezana s starostjo, spolom in maso osebe. Gostota kosti se s starostjo zmanjšuje, večja masa osebe pa pomeni tudi večjo gostoto kosti. Ravno tako imajo moški večjo gostoto kosti kot ženske, kar jim omogoča večjo odpornost proti zlomu. Pri zlomih spodnjih delov nog je potrebno upoštevati tudi poškodbe tkiva (ligamenti, mišice, žile), kot so zvini in udarci, ki spadajo v kategorijo poškodb AIS 1.

Pri poškodbah spodnjega dela nog je potrebno omeniti, da je narava teh poškodb takšna, da pacientu onemogoča gibanje ter da zahteva dolgotrajno zdravljenje. Kot primer lahko navedemo zdravljenje zloma petnice, ki je zelo pogosto ob naletu vozila na PTM. Petnica se celi zelo počasi, poleg tega pa je zdravljenje zelo boleče.

Sile, ki se pojavijo pri eksploziji mine in delujejo na spodnji del nog, so primerljive s silami, ki nastanejo pri čelnem trku vozila. Obstaja več študij in načinov merjenja poškodb spodnjega dela nog, med drugimi tako poznamo modele: Yoganandan, 1996; Griffin, 2001; Seipel, 2001; Kuppa, 2001; Funk et al., 2002. Vsi modeli imajo svoje dobre in slabe lastnosti. Za potrebe testa eksplozije mine pa se uporablja Yoganandanov model.

Slika 46: Krivulja poškodb za spodnji del nog



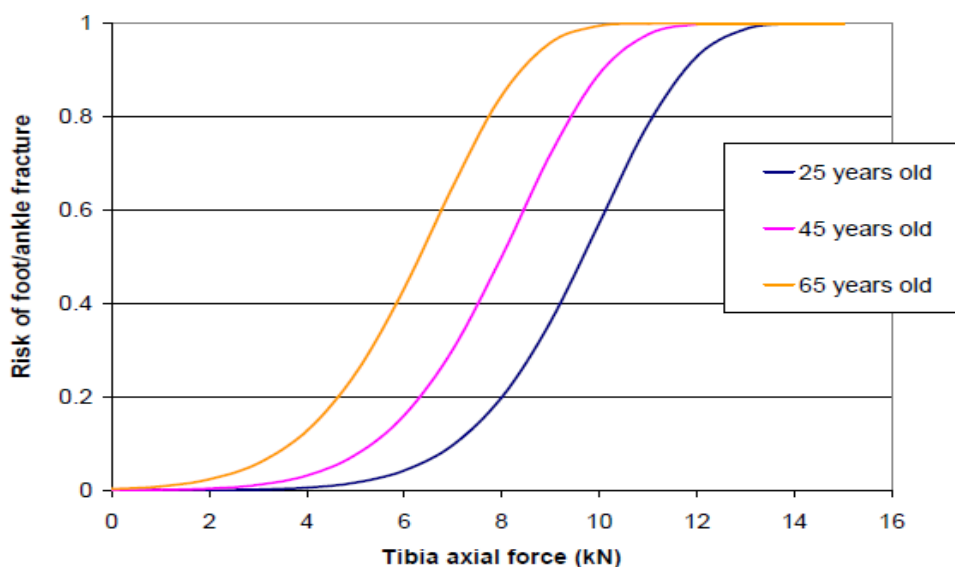
Vir: NATO, 2007, str. 3/7.

Yoganandan je leta 1996, s pomočjo več testov na človeških nogah in rezultatih dobljenih iz podobnega testa v Wayne State University in Calpan Corporation, izdelal graf funkcije verjetnosti poškodbe v odvisnosti od sile in starosti osebe (Slika 46). Na osnovi grafa je izdelan tudi matematični model verjetnosti poškodbe zglobova oziroma spodnjega dela noge:

$$p(\text{fracture}) = 1 - \left[\exp \left\{ - \left(\frac{0.0348 * \text{age} + 0.415 * \text{force}}{5.13076} \right)^{7.42582} \right\} \right] \quad (9)$$

Verjetnost je neposredno povezana s starostjo osebe in silo, ki je delovala na nogo. Na osnovi matematičnega modela pa je mogoče izdelati krivuljo verjetnosti poškodbe (Slika 47).

Slika 47: Krivulje verjetnosti poškodb za spodnji del nog



Vir: NATO, 2007, str. 3/8.

Za primer zahtevanih 10 % verjetnosti poškodbe lahko vidimo, da so največje dovoljene sile: 7.0, 5.4 in 3.8 kN za 25, 45 in 65 let stare osebe. Ker je starost vojakov med 20 do 45 let, je za zgornjo mejo postavljena vrednost 5,4 kN.

V Tabeli 13 je prikazan čas, ki je potreben za ozdravitev najbolj pogostih poškodb spodnjega dela nog. Lahko vidimo, da je že za AIS 2 poškodbo potrebno okrevanje daljše od treh mesecev.

Tabela 13: Poškodbe spodnjega dela nog in časi okrevanj

Primer poškodbe	AIS	Okrevanje	Možnost invalidnosti
zvin zgloba	1	2–3 mesece	nizka
preprost zlom golenice	2	3 mesece	nizka
zlom skočnice	2	3 mesece +	srednja
zlom petnice	2	3 mesece +	srednja–velika
odprti zlom golenice	3	3 mesece +	nizka–srednja
zlom golenice ali piščali z poškodbo arterije ali živcev	3	3 mesece +	srednja–velika
amputacija uda	4	3 mesece +	velika

Vir: NATO, 2007, str. C-3.

Za izvedbo protiminskega testa se uporabljajo lutke tipa Hybrid III 50th ATD, vendar pa so testiranja pokazala, da spodnji del nog na lutki ni najbolj primeren za merjenje sil. Posledično je standard določil, da je potrebno spodnji del nog pri lutkah zamenjati z testno nogo Mil-LX (Military Lower Extremity), ki bolj realno izmeri aksialne sile v spodnjem delu noge (NATO, 2011a, str. E-1).

Trenutno je dovoljeno uporabljati oba tipa testnih nog, pri čemer je kriterij zgornje dovoljene sile naslednji:

- Mil-LX 2.6 kN;
- Hybrid III 50th 5.4 kN.

6 NACIONALNA AVTORITETA

Certificiranje vozila za ustrezno minske zaščite se v večini primerov izvaja ob procesu nabave vozila oziroma ob nadgradnji zaščite na obstoječem vozilu, redkeje se izvaja ob potrjevanju že obstoječe zaščite (v primeru, da se smatra, da je zaščita neustrezna). V primeru nabave novega vozila kupec pričakuje vozilo skladno z njegovimi zahtevami, kar pomeni, da želi aktivno sodelovati pri izvedbi testa in pridobivanju certifikatov.

Znotraj procedure za testiranje minske zaščite obstaja kar nekaj točk, v katerih se pričakuje, da naročnik testa (kupec vozila) odloči oziroma določi posamezne dejavnike testa. Oseba, ki je pooblaščen s strani kupca za odločitev, se imenuje nacionalna avtoriteta. Običajno se za nacionalno avtoriteto določi visok predstavnik odseka za nabavo vojaške opreme znotraj posamezne vojske oziroma še bolj običajno znotraj obrambnega ministrstva.

Naloge nacionalne avtoritete pri izvedbi testa minske zaščite lahko razdelimo na več sklopov:

- postopek izvedbe testa;
- določitev testne konfiguracije vozila;
- definicija grožnje;
- ocena poškodb.

6.1 Postopek izvedbe testa

V postopku izvedbe testa se nahajajo tiste naloge, ki jih mora kupec (nacionalna avtoriteta) definirati pred samo izvedbo testa. Gre za proceduralna vprašanja, kot so:

- definiranje testnih korakov;
- definiranje in potrditev zahtevano stopnjo minske zaščite;
- zahteva po testu ustreznosti rešitve minske zaščite;
- zahteva po dodatnem testu minske zaščite z mino nad zahtevano stopnjo zaščite.

V točki definiranja testnih korakov se opredeli kateri koraki testa bodo izvedeni in kateri bodo preskočeni, to velja predvsem za test ustreznosti rešitve minske zaščite in

dodatni test minske zaščite z mino nad zahtevano stopnjo zaščite. Oba navedena testa nista obvezna, lahko pa jih nacionalna avtoriteta zahteva.

Poleg tega se v sklopu določitve postopka izvedbe testa lahko določijo odstopanja od procedure standarda. V primeru, da nacionalna avtoriteta določi odstopanje od predpisanega postopka (ob zagotovitvi, da je uporabljen postopek ocenjen kot primerljiv in da so postopki kakovostno dokumentirani) se rezultati minskega testa klasificirajo kot »ocenjeni«.

6.2 Določitev testne konfiguracije vozila

V ta sklop sodijo naloge določitve konfiguracije vozila. Izvedba minskega testa predstavlja velike finančne stroške, poleg tega pomeni poškodbo (uničenje) enega ali več vozil. Z vidika stroškov je tako jasno, da si manjši izdelovalci vozil prizadevajo za minimalno število testov oziroma potrditev ustreznosti minske zaščite in pridobitev certifikata na nekem »univerzalnem« vozilu, ki bi ga lahko kasneje uporabljali pri prodaji vozil drugim kupcem.

Slika 48: Del družine vozil Piranha III



Vir: Arthur & Hearn, 2008, str. 25–52.

Moderne vojske pri nabavi vozil iščejo univerzalnost (Slika 48), kar pomeni en tip vozila za več različnih namenov (pa naj bo to tovorno vozilo ali oklepni transporter).

Različne konfiguracije vozila (oklepni transporter, bojno vozilo, poveljniško vozilo, inženirsko vozilo, sanitetno vozilo...) se med sabo razlikujejo po različni razporeditvi mas. Vozila z nadgradnjami imajo velik del mase na vrhu vozila, kar ima še posebej velik vpliv na deformacijo strehe vozila pri padcu na zemljo, medtem ko so vozila brez nadgradenj lažja, posledično se ob eksploziji mine dvignejo višje in pri padcu doživijo večje poškodbe na podvozju in okolici obes posameznega kolesa.

Izvedba minskega testa na vseh konfiguracijah je nerealna in od nacionalne avtoritete se pričakuje, da bo določila kakšno konfiguracijo izbrati.

V realnosti se izbira konfiguracije izvede na osnovi najštevilčnejše konfiguracije oziroma katera konfiguracija ima največ možnosti, da zapelje na mino (verjetnost, da poveljniško vozilo zapelje na mino je bistveno manjša kot pri oklepem transporterju). V določenih primerih pa se posamezni naročniki odločijo za izdelavo specialnega testnega vozila, ki je kombinacija več različnih konfiguracij in predstavlja kombinacijo najverjetnejših oziroma najbolj kritičnih variant.

Pod samo konfiguracijo se razume tudi, da je vozilo opremljeno s pripadajočim sistemom sedežev, pripadajočo vgrajeno opremo in nosilci za opremo ter da je enake mase kot bo dejansko operativno vozilo (vozilo, gorivo, posadka, oprema ...).

V testni konfiguraciji se želimo čim bolj približati realnim pogojem, kar pomeni tudi konfiguracijo testnih lutk. Položaj testne lutke se mora čim bolj približati položaju, ki bi ga zavzel vojak (položaj sedeža, način sedenja, položaj rok in nog, položaj glave). Pri pripravi lutke je potrebno upoštevati tudi opremo, ki bi jo vojak nosil na sebi (čelada, neprebojni jopič, vojaški škornji).

6.3 Definicija grožnje

V sklopu nalog definicije grožnje se mora določiti ne samo število testov, temveč se mora za vsak posamezni test določiti lokacija postavitve mine ter število in lokacije testnih lutk znotraj vozila.

Iz standarda izhaja, da je potrebno za potrditev certifikata opraviti minimalno dva testa, vsaj eden za test zaščite v primeru eksplozije pod kolesom vozila in eden v primeru eksplozije mine pod trupom vozila. Seveda z dvema testoma ni mogoče pridobiti vseh relevantnih podatkov; še toliko bolj, ko je potrebno s temi testi pokriti čim več različnih konfiguracij vozila. Posledično je želja kupca, da je število testov večje oziroma je potreben kompromis med kupcem in izdelovalcem vozila.

Lokacija mine naj bi bila postavljena na najtežjo možno lokacijo, seveda je to lažje reči kot dejansko določiti. Če je mina postavljena pod vozilom, recimo v točki težišča vozila, bo sila ob detonaciji dvignila celotno vozilo, v primeru, da je mina postavljena bližje robu vozila, pa lahko pride do dviga samo dela vozila. Posledično bodo sile in obremenitve na vozilo drugačne. Podobno velja za test pod kolesom vozila; če je mina natančno pod kolesom, bo vsa energija mine prenesena na kolo, v primeru, da je mina zamaknjena proti centru vozila, pa bo del energije deloval neposredno na šasijo vozila.

Minimalno število lutk, ki morajo biti v vozilu, je vsaj ena. Postavitev lutke je pomembnejša kot je sama lokacija mine. Osnovni kriterij za uspešno opravljen test je, da so izmerjene sile na lutki pod predpisanimi (poleg ne preboja šasije), zato je lokacija lutke odločilnega pomena. Po besedah Reineckeja et al. (b. l.) so sile na vojaka (testno lutko) največje neposredno nad lokacijo mine in so na razdalji 2 m od lokacije praktično že zanemarljive z vidika poškodbe vojaka. Lep primer je meritev (Slika 49), kjer so bili ob izvedbi testa merjeni vsi sedeži posadke vozila.

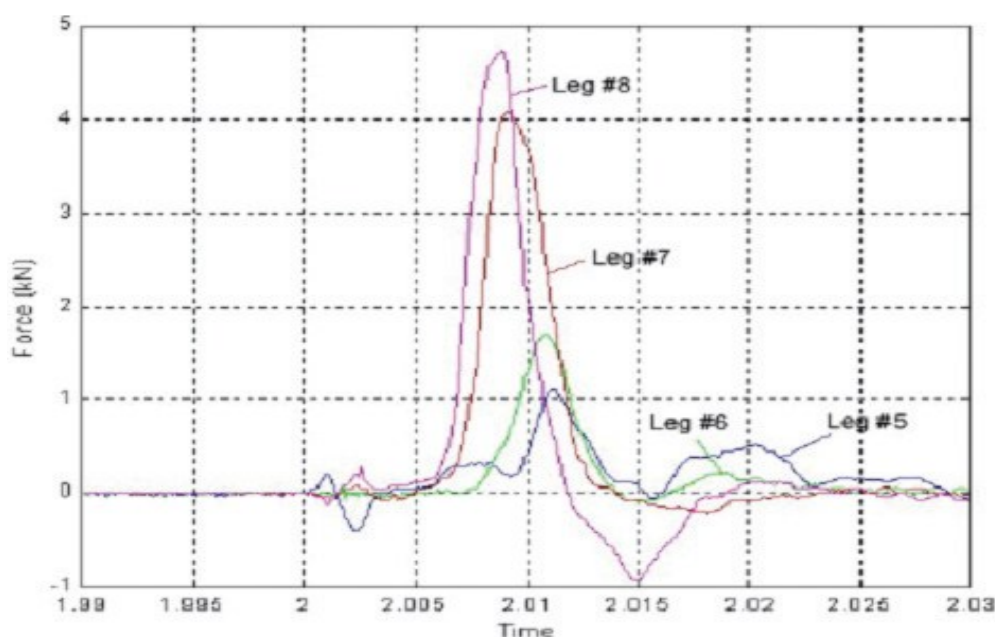
Slika 49: Pozicija testnih lutk in testne noge pred in po testu



Vir: Reinecke et al., b. l.

Na sliki sta dve testni lutki (najbolj notranja sedeža) in šest testnih nog (imajo enako funkcijo kot celotna lutka, merijo pa samo sile na nogi). Če pogledamo sile, ki so nastale na spodnji del nog (Slika 50) lahko vidimo, da je sila na nogah številka 8 in številka 7 (4,7 kN in 4 kN) bistveno večja, kot je na naslednjih dveh nogah (1,6 kN in 1,1 kN). Predvidevamo, da je bila lokacija eksplozije mine v bližini noge številka 8. Če analiziramo podatke, lahko vidimo, da je sila na spodnji del noge (stopalo) na razdalji cca. 1,2 m od točke eksplozije le še 34 % vrednosti izmerjene nad točko eksplozije in na razdalji cca. 1,8 m le še 23 %.

Slika 50: Izmerjene sile na testnih nogah



Vir: Reinecke, b. l.

Iz primera je mogoče razbrati, da je izbira mesta za merjenje sil (izbira sedeža) zelo pomembna in lahko bistveno vpliva na uspešnost rezultatov testa.

6.4 Ocena poškodb

V oceno poškodb spada določitev meje prostora posadke, ki se dejansko dogovori že pred izvedbo testa. Določitev meje prostora posadke je potrebna, saj je na vozilu ogromno *prostorov* (motorni prostor, prostor za opremo in orodje ...), ki niso v stiku s prostorom posadke in preboj drobcev v te prostore ne vpliva na zaščito vozila.

Ob zaključku testa je naloga nacionalne avtoritete tudi ocena poškodb vozila, ki se izvede s pomočjo pregleda vozila po testu in ogleda posnetkov s hitro kamero. Vse poškodbe vozila, ki so posledica minskega testa, se dokumentirajo, mehanizmi, ki so neposredno in posredno prispevali k poškodbam, pa se preučijo in če je izvedljivo tudi dokumentirajo.

7 PRIMERJAVE IN VPLIVI NA STANDARD

PTM mine so v uporabi že vse od konca 1. svetovne vojne, zaščita vozil pred njimi pa obstaja že od 2. svetovne vojne naprej. Kljub vsemu pa je trajalo vse do leta 2006, da smo dobili standard, ki je mednarodno priznan in uporabljen. Razlogi ležijo v nacionalnih internih predpisih, ki so bili na različnih stopnjah odvisno od države do države (večina manjših držav pa jih sploh ni imela). Z večjo uporabo sil NATO na svetovnih žariščih se je pokazalo, da določena vozila, čeprav na zunaj zelo podobna, niti približno niso imela enakih sposobnosti minske zaščite.

Eden od razlogov za zaostritev standarda je bil vsekakor prevelik vpliv nacionalne avtoritete na rezultate testa. S primerjavo prvotne verzije standarda AEP-55 (NATO, 2006) z verzijo iz leta 2011 lahko ugotovimo, da je prvotna verzija naložila nacionalni avtoriteti (oziroma kupcu) ogromno odločitev, za katere te niso bile dovolj strokovno usposobljene oziroma niso dovolj dobro poznale postopke preverjanja minske zaščite. To velja še posebej za male države, kjer nacionalno avtoriteto predstavlja ena oseba, ki ima na voljo malo ali pa nobenega strokovnjaka na področju minske zaščite. Seveda so takšni pogoji preferirali prodajalce vojaških vozil.

Vpliv nacionalne avtoritete

Nacionalna avtoriteta lahko zagotovi, da bo testno vozilo resnično testirano ob najbolj nevarnih pogojih. Seveda pa lahko ob slabšem poznavanju principov delovanja mine in minske zaščite določi testne pogoje, ki bodo bistveno lažji (ne bodo predstavljali mejnih pogojev, najtežje variante), rezultati testiranja pa bodo zato bolj ugodni in bodo prikazovali zaščito vozila v boljši luči kot je v resnici. Prava vrednost minske zaščite pa se bo pokazala na bojnem polju in lahko predstavlja negativen šok za uporabnika vozil.

Primer takšne prakse je vozilo Stryker 8x8 ameriške vojske. Nastanek vozila datira v 90. leta prejšnjega stoletja; razvoj novih materialov, predvsem balistične keramike je dajal upanje tako proizvajalcem vozil kot tudi vojaškim generalom ZDA, da je mogoče izdelati vozilo, ki bo preseglo vse kar je bilo do takrat narejeno. Žal so bile želje glede novega materiala preveč optimistične in vozilo je postalo kompromis med težo, zaščito

in manevrskimi sposobnostmi. Vozilo naj bi uspešno opravilo več minskih testov (seveda skladnih s standardom), realnost na bojišču Iraka pa je ustreznost minske zaščite zelo hitro demantirala.

Ugotovimo lahko, da je bila najverjetneje izbira lokacije mine in izbira lokacij za testne lutke vse prej kot ustrezna oziroma je bil izveden test na »univerzalnem vozilu«, ki še zdaleč ni predstavljal dejanskega vozila, ki ga je vojska ZDA naročila in dobila.

Primerjava stopenj zaščite

Zelo pogosto je slišati s strani civilnih »strokovnjakov«, da so vojaški standardi v večini primerov slabi in skrbijo samo za zaslužek prodajalcev opreme in zelo malo za vojake same. Splošno znan je izrek »Ne pozabi, da uporabljaš opremo najcenejšega ponudnika«. Zato je prav, da pogledamo, kakšna je dejanska kakovost standarda in kaj dejansko zagotavlja.

Ustreznost minske zaščite temelji (kot je bilo predstavljeno v točki 5.3) na zagotavljanju predpisanih ali manjših sil na testnih lutkah. Enak princip uporabljajo tudi pri testiranju civilnih vozil na trk, kjer se uporabljajo enake testne lutke in merijo enaki ali zelo podobni elementi.

Primerjava med testnimi zahtevami AEP-55 vol.II in najbolj znanim sistemom merjena trkov vozil Euro NCAP je prikazana v Tabeli 14.

Tabela 14: Primerjava med Euro NCAP in AEP-55 – obremenitve

Kriterij	Euro NCAP Zgornja meja	Euro NCAP Spodnja meja	AEP-55 vol.II Hybrid III
Poškodbeni kriterij glave HIC	650 (HIC36) 455 (HIC15)	1000 (HIC36) 700 (HIC15)	357 (HIC 36) 250 (HIC15)
Osna natezna sila v vratu	2.7 kN/0 msec 2.3 kN/35 msec 1.1 kN/60 msec	3.3 kN/0 msec 2.9 kN/35 msec 1.1 kN/60 msec	3.3 kN pri 0 ms 2.8 kN pri 35 ms 1.1 kN nad 45 ms

Kriterij	Euro NCAP Zgornja meja	Euro NCAP Spodnja meja	AEP-55 vol.II Hybrid III
Strižna sila vratu	1.9 kN/0 msec 1.2 kN/ 25–35 msec 1.1 kN/45 msec	3.1 kN/0 msec 1.5 kN/ 25–35 msec 1.1 kN/45 msec	3.1 kN pri 0 ms 1.5 kN pri 25-35 ms 1.1 kN nad 45 ms
Deformacija prsnega koša	22 mm	50 mm	30 mm
Kriterij hitrosti deformacije prsnega koša	0.5 m/s	1.0 m/s	0.70 m/s
Osna sila v stegnu	3.8 kN	9.07 kN/0 msec 7.56 kN/≥ 10 msec	6.9 kN
Osna tlačna sila v goleni	2 kN	8 kN	5.4 kN (HIII) 2.6 kN (Mil-LX)

Vir: Euro NCAP, 2011, str. 2–19; NATO, 2011a, str. E-8.

Za Euro NCAP imamo dve koloni, za zgornjo in spodnjo mejo. Pri tem je zgornja meja zahteva, ki predstavlja pet zvezdic in spodnja meja, ki predstavlja še dovoljeno vrednost (oziroma ena zvezdica). Primerjava sil (obremenitev) pokaže, da so zahteve AEP-55 v večini primerov nekje v sredini obeh kriterijev NCAP, v primeru poškodb glave pa je zahteva EAP-55 bistveno bolj stroga.

Ker same obremenitve na določene dele telesa ne prikažejo dejanske nevarnosti za udeleženca v trku vozila ali naleta na mino, je bolj jasna slika, ko primerjamo kakšne vrste poškodb (AIS lestvica) bi te obremenitve povzročile (Tabela 15).

Tabela 15: Primerjava med Euro NCAP in AEP-55 – AIS

Kriterij	Euro NCAP Zgornja meja	Euro NCAP Spodnja meja	AEP-55 vol.II Hybrid III
Poškodbeni kriterij glave HIC	5 % ≥ AIS3; 21,5 % ≥ AIS2	20 % ≥ AIS3; 39 % ≥ AIS2	10 % ≥ AIS2
Osna natezna sila v vratu		10 % ≥ AIS2	10 % ≥ AIS2

Kriterij	Euro NCAP Zgornja meja	Euro NCAP Spodnja meja	AEP-55 vol.II Hybrid III
Strižna sila vratu		10 % ≥ AIS2	10 % ≥ AIS2
Deformacija prsnega koša	5 % ≥ AIS3; 29 % ≥ AIS2	50 % ≥ AIS3; 58 % ≥ AIS2	10 % ≥ AIS3 38 % ≥ AIS2
Kriterij hitrosti deformacije prsnega koša	5 % ≥ AIS4	25 % ≥ AIS4	10 % ≥ AIS4
Oсна sila v stegnu	5 % ≥ AIS2	25 % ≥ AIS2	10 % ≥ AIS2
Oсна tlačna sila voleni	2 % ≥ AIS2	50 % ≥ AIS2	10 % ≥ AIS2

Vir: Euro NCAP, 2011, str. 2–19; NATO, 2011a, str. E-22–E-26.

Standard AEP-55 v svojem uvodu predpisuje 90 % zaščito pred PTM mino (glede na stopnja zaščite: 6, 8 ali 10 kg), kar pomeni 10 % možnost poškodbe. Dejansko pa zahteve znotraj standarda govorijo o 10 % verjetnosti zmerne do srednje težke poškodbe. Primerjava z NCAP pa pokaže, da je za vozilo, ki je ocenjeno z eno zvezdo, verjetnost zmerne do srednje težke poškodbe med 25 do 35 %. Za vozila s petimi zvezdicami pa je verjetnost zmerne do srednje težke poškodbe določena pri približno 5 %.

Če smo pri silah ocenili, da se vojaški standard nahaja nekje na sredini med najboljšim in še sprejemljivim civilnim vozilom, pa vrednosti možnosti poškodbe govorijo, da je standard veliko bližje najboljšim civilnim vozilom. Pri tem je potrebno pripomniti, da se trki vozil izvajajo pri hitrosti 60 km/h, medtem ko so sile, ki se sprostijo pri eksploziji mine bistveno večje in da se večina vojaških vozil na minskem testu ne približa mejnim vrednostim določenim v standardu.

Dejanska stopnja zaščite

Zahteva iz standarda »90 % zaščita pred minami« ne pomeni, da ima vojak v vozilu samo 10 % možnosti poškodbe, temveč se zahteva nanaša na posamezni kriterij poškodb. Standard tako meri 11 kriterijev (Tabela 7), ki pokrivajo (skoraj) celotno telo vojaka. Statistično gledano je verjetnost poškodbe udeleženca bistveno večja in znaša:

Tabela 16: Verjetnost poškodb

		Verjetnost vsaj ene poškodbe
Zmerne do srednje težke poškodbe	AIS2	67,05 %
Težke, vendar ne življenjsko nevarne poškodbe	AIS3	30,44 %
Težke poškodbe, ki so lahko življenjsko nevarne	AIS4	21,80 %
Kritične, življenjsko nevarne poškodbe	AIS5	0,70 %

Vir: Gibson et al., 2001, str. 6, 8, 9 in 12.

Verjetnost za zmerne do srednje poškodbe je 67 %. Verjetnost ostalih poškodb (AIS 3, 4 in 5) je pridobljena iz krivulj tveganj poškodb za posamezne poškodbe; v primeru, da krivulje ne obstajajo, pa so podatki interpolirani iz znanih podatkov.

ZAKLJUČEK

Literatura povezana s protiminsko zaščito je redka. Gre za ozko usmerjeno namensko področje, ki vpliva na relativno malo število ljudi, posledično je literatura interne narave in težko dosegljiva.

To je toliko bolj opazno pri manjših državah, ki ne razpolagajo z namensko industrijo, ki bi izdelovala balistično ali minsko zaščito in morajo izvesti nabavo pri izdelovalcih izven lastne države. Male države se morajo pri izvedbi razpisov za minsko zaščiteni vozilo zanašati na »dobro voljo« oziroma poštenost izdelovalcev vozil, ki ponujajo svoje izdelke oziroma na »dobronamerne« nasvete večjih držav, ki v večini primerov podpirajo prodajo lastnih izdelkov.

Relevantnost magistrskega dela

Magistrsko delo poskuša zapolniti praznino na tem področju na eni strani z zbirom najbolj pomembne literature in njeno obrazložitvijo ter z razčlenitvijo standarda na drugi strani postaviti osnovne temelje za delo nacionalne avtoritete.

Situacija v Sloveniji

Kot že omenjeno je svetovna literatura s področja minske zaščite zelo redka in nedostopna, kar še toliko bolj velja za stanje v Sloveniji. Če imamo na eni strani zelo dobro literaturo o minah in razminiranju, ki smo jo pridobili preko Izobraževalnega centra RS za zaščito in reševanje (ICZR) ter zelo dobro usposobljen kader na področju razminiranja min, pa potreb po znanju iz minske zaščite do pred kratkim ni bilo. Vsa vozila v sestavi SV so bila iz časa JNA, enako je veljalo tudi za minsko zaščitena vozila.

Z nabavo novih oklepnih vozil (Hummer 4x4, Valuk 6x6, Svarun 8x8) so se pojavile prve potrebe najprej po pravilni določitvi zahtev minske zaščite in kasneje ustreznem pregledu certifikatov in poročil iz testiranj. Prvotno so bila vozila nabavljena na osnovi zagotovil in certifikatov drugih vojsk, ki so že uporabljale vozila; v primeru Patrie pa

smo lahko tudi v medijih zasledili veliko vprašanj o ustreznosti izbire zaščite in ustreznosti dokumentacije ter posledično tudi vprašanja o delu skupine za nabavo vozila in dela nacionalne avtoritete.

Slovenska nacionalna avtoriteta po našem mnenju trenutno ni usposobljena za teste minske zaščite oziroma za oceno rezultatov minskega testa, ravno tako ni usposobljena za pravilno interpretacijo rezultatov, ki jih je izvedel proizvajalec za druge naročnike (za vozilo, ki je podobno našemu vozilu) in jih ponuja kot relevantne za naše vozilo.

V Ministrstvu za obrambo RS trenutno ne obstaja literatura, ki bi jo lahko nacionalna avtoriteta uporabila za pripravo ali kot pomoč pri procesu izvedbe minskega testa. S tega vidika bi lahko bilo magistrsko delo ne samo prvi takšen vir v slovenskem jeziku, temveč bi lahko z manjšimi popravki in dopolnitvami služilo kot priručnik za delo nacionalne avtoritete.

Možnost nadaljnjega razvoja

Poškodbeni kriteriji za posamezni del človeškega telesa so bili razviti na osnovi raziskovalno-eksperimentalnih del posameznih strokovnjakov. Pri tem so se izvajale raziskave na truplih umrlih, različnih živalih in tudi prostovoljcih, z namenom poiskati ustrezno fizikalno-matematično zvezo med obremenitvijo človeškega telesa in rezultirajočo poškodbo. Kot pa smo lahko videli, so te krivulje pridobljene na različne načine, večinoma v letih med 1960 in 1980, z namenom uporabe v avtomobilski in letalski industriji oziroma v preprečevanju športnih poškodb.

Standard AEP-55 povzema večino poškodbenih kriterijev, ki so nastali za avtomobilsko in letalsko industrijo. Razlogi so bili v pomanjkanju lastnih podatkov iz dejanskih minskih nesreč na bojiščih oziroma v velikih stroških izvajanja ustreznih testov.

Trenutno je standard AEP-55 kompromis med poškodbenimi kriteriji pridobljenimi iz drugih industrij in željami vojakov po čim večji zaščiti ter željo izdelovalcev vozil po minimalnem vložku in zadostnem profitu pri razvoju samega vozila, nenazadnje pa ne smemo pozabiti tudi na finančno zmožnost države, ki nabavlja vozila.

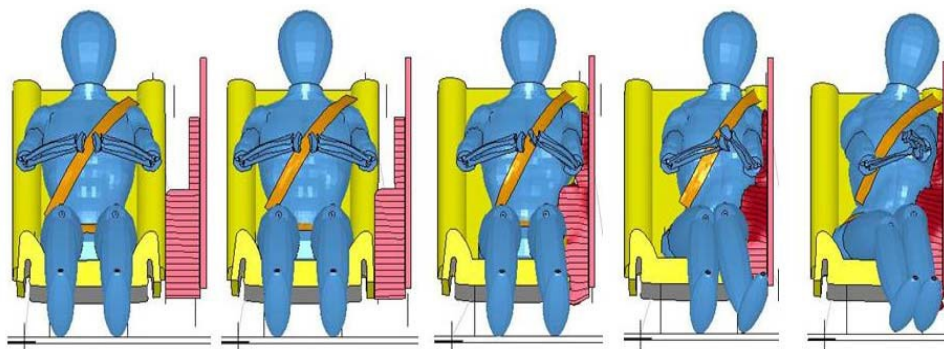
Če do vojn v Iraku in Afganistanu ni bilo velike potrebe po minski in balistični zaščiti, pa sta obe vojni zahtevi dvignili na popolnoma novo raven. Število minskih nesreč in rezultati teh (predvsem z vozili Hummer in Stryker) so pokazali, da je potrebno nadgraditi standarde minske zaščite.

Ena od ugotovitev je vsekakor, da so posamezni kriteriji neprimerni oziroma so njihove vrednosti napačno določene. Predvsem je to vidno pri poškodbah spodnjih okončin, kjer standard popolnoma pozablja na poškodbe stopala in gležnja.

Nadgradnja standarda

IED in EFP mine so v veliki meri spremenile smer delovanja min na vozilo. Če je bilo pri klasičnih PTM minah delovanje eksplozije navzgor v dno vozila, pa IED in EFP delujejo s stani na bok vozila. Nove obremenitve tako zahtevajo boljšo zaščito bokov vozil in predvsem sistem sedeža ter varnostnega pasu, ki bosta sposobna zavarovati vojaka pred temi obremenitvami.

Slika 51: Delovanje bočnih sil



Vir: Campbell, 2009.

Potrebno je izdelati kriterije za udarce v ramo in kriterije za bočne udarce v predel telesa (rebra). V obeh primerih gre za bočno premikanje osebe in udarec rame v steno vozila ali pa stisk roke ob telo, pri čemer pride do poškodb rebra in notranjih organov (Slika 51). Podobne raziskave se že izvajajo na področju avtomobilske industrije z vzpostavitvijo obveznih testov za bočne trke. Raziskave so že privedle do uporabe novih testnih lutk z izboljšanimi lastnostmi merjenja bočnih udarcev.

Dodatno bo potrebno povečati pozornost sklopu stopala in gležnja. Raziskave pri testiranju kažejo, da različni položaji stopala pri naletu na mino pomenijo različne obremenitve in posledično različne poškodbe.

Povečanje zaščite

Kot zadnjo točko za nadaljevanje razvoja standarda pa predpostavljamo, da je potrebno povečati zaščito iz zdajšnje zahteve po 90 % zaščiti na 95 % zaščito. S povečanjem zahtev po zaščiti bi pri skupni oceni poškodb zmanjšali možnost zmerne do srednje poškodbe za 10 do 15 % (Tabela 17). Rezultati so pridobljeni s statističnimi izračuni velikosti poškodb in pripadajočimi verjetnostmi poškodb AIS 2.

Tabela 17: Primerjava med 90 in 95 % zaščito

	Verjetnost vsaj ene poškodba AIS 2	
	90 % zaščita	95 % zaščita
Zmerne do srednje težke poškodbe (AIS 2)	67,05 %	54,42 %

Vir: Euro NCAP, 2011, str. 2–19; NATO, 2011, str. E-22–E-26.

Predlagana vrednost zaščite je primerljiva zgornji vrednosti pri testiranju osebnih vozil z Euro NCAP standardom.

Upravičenost zahteve po povečanju zaščite lahko potrdimo z zahtevami, ki jih postavljata nemška in švedska vojska glede vozil za čiščenje min, kjer je zahteva za zaščito vozila 95 % oziroma je zahteva po 5 % verjetnosti poškodbe AIS 2.

LITERATURA IN VIRI

- Alotec (b. l.). *High Performance Aluina for Personal and Body Protection*. Najdeno 17. junija 2012 na spletnem naslovu http://www.etc-ceramics.de/fileadmin/Dateien/PDF/Ballistik/K2-R_Ballistik_engl.pdf
- Arthur, G. & Hearn, S. (2008). *LAV & Piranha The Extended Family*. Hong Kong: Concord Publication co.
- Autoflug Safety Systems, Inc. (b. l.). *SDS-200*. Najdeno 17. junija 2012 na spletnem naslovu http://www.autoflug.net/asi/pages/menu.php?page_id=388&lang=eng&menu_id=6&ebene=
- BDEC Limited. (2011). *British Defence Equipment Catalogue, Vehicle equipment, Runflat and mobility solutions*. Merstham Surrey: BDEC Limited. Najdeno 17. junija 2012 na spletnem naslovu <http://www.bdec-online.com/bd-cat37/c370025.cfm>
- Bergeron, D. M. & Gonzalez, R. (2004). *Towards a Better Understanding of Land Mine Blast Loading*. Washington: The Technical Cooperation Program – TTCP.
- Bergeron, D. M. & Tremblay, J. E. (2000). Canadian Research to Characterize Mine Blast Output. *16th international Symposium on the Military Aspects of Blast and shock (501–511)*. Oxford: MABS 16.
- Bizjak, M. (2000). Mine in tehnike miniranja, uporabljene na Kosovu. *Ujma – revija za vprašanja varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami*, 14 (14–15), 447–451.
- Board Army Medical Department Center & School, Borden Institute Walter Reed Army Medical Center. (2004). *Emergency War Surgery (Third United States Revision)*. Najdeno 17. julija 2012 na spletnem naslovu http://www.bordeninstitute.army.mil/other_pub/ews/TableOfContents.pdf
- Campbell, B. (2009). *A Numerical Side Impact Model to Investigate Thoracic Injury in Lateral Impact Scenarios*. Ontario: University of Waterloo.
- Courtney-Green, P. R. (1991). *Ammunition for the Land Battle*. London: Brassey's (UK) Ltd.
- Čihalova, L. & Hynčík, L. (2008). Impact injury prediction by FE human body model. *Applied and Computational Mechanics*, 2 (2008), 243–254.
- Department of the Army. (2005). *Field Manual Interim No. 3-34.119 – Improvised Explosive Device Defeat*. Washington: Department of the Army.

- DoD – Department of Defense (1998). *Crew Systems Crash Protection Handbook*, JSSG-2010-7. Washington: Department of Defense – DoD.
- Eiband, A. M. (1959). *Human Tolerance to Rapidly Applied Accelerations: A Summary of the Literature*. Cleveland: Lewis Research Center.
- Euro NCAP. (2011). *Assesment Protocol – Adult Occupant Protection, European New Car Assessment Programme, Version 5.4*. Najdeno 17. julija 2012 na spletnem naslovu <http://www.euroncap.com/files/Euro-NCAP-Assessment-Protocol---AOP---v5.4---0-e34e41c4-355b-43e9-8781-72f700b1ff6b.pdf>
- Fourney, W., Leiste, U., Bonenberger, R. & Goodings, D. (2006). Mechanism of Loading on Plates Due to Explosive Detonation. *FRAGBLAST: International Journal for Blasting and Fragmentation*, 10 (3), 205–217.
- Funk, J. R., Crandall, J. R., Tournet, L. J., MacMahon, C. B., Bass, C. R., Patrie, J. T., Khaewpong, N. & Eppinger, R. H. (2002). The Axial Injury Tolerance of the Human Foot/Ankle Complex and the Effect of Achilles Tension. *Journal of Biomechanical Engineering*, 124, 750–757.
- Geneva International Centre for Humanitarian Demining – GICHD. (2004). The protection of vehicles and plant equipment against mines and UXO. *A Study of Mechanical Application in Demining*, 121–150.
- Geneva International Centre for Humanitarian Demining – GICHD. (2010). *A Guide to Mine Action, fourth edition*. Geneva: Geneva International Centre for Humanitarian Demining (GICHD).
- Genson, K. (2006). *Vehicle Shaping for Mine Blaste Damage Reduction*. College Park: Faculty of the Graduate School of the University of Maryland.
- Gibson, T., Fildes, B., Deery, H., Sparke, L., Benetatos, E., Fitzharris, M., McLean, J. & Vulcan, P. (2001). *Improved Side Impact Protection: A Review of Injury Patterns, Injury Tolerance and Dummy Measurement Capabilities, Report No. 147*. Melbourne: Monash University Accident Research Centre.
- Gondusky, J. S. & Reiter, M. P. (2005). Protecting military convoys in Iraq: an examination of battle injuries sustained by a mechanized battalion during Operation Iraqi Freedom II. *Military Medicine*, 170 (6), 546–550.
- Gupta, A. D. & Skaggs, R. R. (2003). *Effect of Deflector Shapes on Mine-Blast Loading, ARL-TR-3042*. Aberdeen: Aberdeen Research Laboratory.

- Hansen, D. (b. l.). *Joint Program Office Mine Resistant Ambush Protected Vehicles*. Najdeno 17. julija 2012 na spletnem naslovu <http://www.dtic.mil/ndia/2011tactical/TuesdayMRAPpanel900.pdf>
- Hlady, S., Bergeron, D. & Gonzales, R. (2005). *Protecting vehicles from a landmine blast*. 22nd International Symposium on Ballistics (str. 1239-1246). Vancouver: International Ballistics Society.
- Hoyos-Uribe, J. A., Bastidas-Poveda, V. H. & Casas-Rodriguez, J. P. (2011). *Effect of Set Up Parameters of Landmine Blast over Transferred Energy to a Rigid Body: Experimental and Computational Study*. 26th International Symposium on Ballistics (15. september 2011). Miami: International Ballistics Society.
- Humanetics Innovative Solutions (b. l.) *Hybrid III 50th Male Dummy*. Najdeno 17. junija 2012 na spletnem naslovu <http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/frontal-impact/hybrid-iii-50th>
- Kania, E. (2009). Developmental Tendency of Landmine Protection in Vehicle. *Modeling and Optimization of Physical Systems*, 8, 67–72.
- Klemenčič, F. (2009). Minska polja smrti. *Revija Obramba*, 43 (41), 32–37.
- McAndrew, B. (2007). *ARL-TR-4236 – Shock Isolation Parameters Based on a Damped Harmonic Oscillator Model for Mine Blast Protected Seating*. Aberdeen: U.S. Army Research Laboratory.
- McElhaney, J. H., Nightingale, R. W., Winkelstein, V. C. C. & Myers, B. S. (2002). Biomechanical Aspects of Cervical Trauma. V A. M. Nahum & J. W. Melvin (ur.), *Accidental Injury – Biomechanics and Prevention, Second Edition* (str. 324–367). New York: Springer-Verlag.
- McHenry, B. (2004). *Head Injury Criterion and the ATB*. ATB Users' Conference (2004). Salt Lake City.
- NATO (1999). *Models for Aircrew Safety Assessment: Uses, Limitations and Requirements*. RTO Meeting Proceedings. Bruselj: NATO.
- NATO. (2004a). *RTO-TR-HFM-089 – Test Methodologies for Personal Protective Equipment Against Anti-Personnel Mine Blast* (Final Report). Bruselj: NATO Research and Technology Organisation (RTO) Human Factor and Medicine Panel (HFM) Task Group.
- NATO. (2004b). *STANAG 4569 – Protection Levels for Occupants of Logistic and light Armoured Vehicles (edition 1)*. Bruselj: NATO Standardization Agency.

- NATO. (2006). *AEP-55, volume 2, Procedures for Evaluating the Protection Level of Armoured Vehicles, volume 2 - Mine Threat, Edition 1*. Brussels: NATO Allied Engineering Publication.
- NATO. (2007). *RTO-TR-HFM-090 – Test Methodology for Protection of Vehicle Occupants against Anti-Vehicular Landmine Effects (Final Report)*. Bruselj: NATO Research and Technology Organisation (RTO) Human Factor and Medicine Panel (HFM) Task Group.
- NATO. (2011a). *AEP-55, volume 2, Procedures for Evaluating the Protection Level of Armoured Vehicles, volume 2 - Mine Threat, Edition 2*. Bruselj: NATO Allied Engineering Publication.
- NATO. (2011b). *RTO-TR-HFM-148 – Test Methodology for Protection of Vehicle Occupants against Anti-Vehicular Landmine and/or IED Effects (Pre-released Report)*. Bruselj: NATO Research and Technology Organisation (RTO) Human Factor and Medicine Panel (HFM) Task Group.
- Nilakantan, G. (2006). *Design and Development of an Energy Absorbing Seat and Ballistic Fabric Material Model to Reduce Crew Injury Caused by Acceleration from Mine/IDE Blast*. Cincinnati: College of Engineering, University of Cincinnati.
- Ogorkiewicz, R. M. (2003). *Impact of mines on armoured vehicle design*. Shrivenham: Cranfield University.
- Owens, B. D., Kragh, J. F., Wenke, J. C., Macaitis, J., Wade, C. E. & Holcomb, J. B. (2008). Combat wounds in operation Iraqi Freedom and operation Enduring Freedom. *The Journal of Trauma*, 64 (2), 295–9.
- Radić, V. N. (2001). *Minsko ratovanje*. Beograd: Vojnoizdavački zavod.
- Radonić, V., Giunio, L., Biočić, M., Tripković, A., Lukšić, B. & Primorac, D. (2004). Injuries from Antitank Mines in Southern Croatia, Association of Military Surgeons of the United States. *Military medicine*, 169, 320–324.
- Ramasamy, A., Masouros, S., Newell, N., Hill, A., Proud, W., Brown, K., Bull, A. & Clasper, J. C. (2011). In-vehicle extremity injuries from improvised explosive devices: current and future foci. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 366, (160–170).
- Reinecke, J. D. (b. 1.) *Validation and Engineering Tests*. Pretoria: CSIR Defence, Peace, Safety and Security.

- Reinecke, J. D., Snymana, I. M., Ahmeda, R. & Beetgeb, F. J. (b. l.). *A safe and secure South Africa Vehicle landmine protection validation testing*. Pretoria: CSIR Defence, Peace, Safety and Security.
- RMSS – RSA Military Standards Committee (2005). *RSA-MIL-STD-37 – Design, Development and Evaluation of Landmine Protected Wheeled Vehicles*. Pretoria: RSA Military Standards Steering Committee (RMSS), Quality Systems, Improvement & Standardisation (QSI&S), Armscor.
- Showichen, A. (2008). *Numerical analysis of vehicle bottom structures subjected to anti-tank mine explosions*. Cranfield: College of Defence Management and Technology.
- Tabiei, A. & Nilakantan, G. (2007). *Reduction of Acceleration Induced Injuries from Mine Blasts under Infantry Vehicles*. 6th European LS-DYNA Users' Conference (29.–30. maj 2007). Gothenburg: Engineering Research Nordic.
- Tremblay, J., Bergeron, D. & Gonzalez, R. (1998). *Protection of Soft-Skinned Vehicle Occupants from Landmine Effects*. Washington: The Technical Cooperation Program – TTCP.
- Ulčar, M. (1995). Pazi, kam stopiš! Taktika bojnih enot. *Revija Obramba*, 29, 53–54.
- Viano, D. C. & King, A. I. (2000). Biomechanics of Chest and Abdomen Impact. V J. D. Bronzino (ur.), *The Biomedical Engineering Handbook: Second Edition* (poglavje 24). Boca Raton: CRC Press LLC.
- Villanueva López, C. D. (2010). Lo Que Oculta El Ministerio De Defensa. *Revista Ejércitos*, Menacho, Hornblower, Patriota, Charly, Alfavega. *Revista Ejércitos*, 3 (2010), 4–11.
- Vojna enciklopedija – VE*. (1973). Beograd: Vojnoizdavački zavod, JNA
- Wang, J., Bird, B., Swinton, B., & Krstic, A. (2001). Protection of lower limbs against floor impact in army vehicles experiencing landmine explosion. *Journal of Battlefield Technology*, 4(3), 8–12.
- Westine, P. S., Morris, B. L., Cox, P. A. & Polch, E. Z. (1985). *Development of Computer Program for Floor Plate Response from Land Mine Explosions*. Warren: U.S. Army TACOM R&D Center.
- Zheng-Dong, M., Dongying, J., Yuanyuan, L., Basavaraju, R. & Bryzik, W. (2006). *Function-Oriented Material Design for Innovative Composite Structures Against Land Explosives*. Ann Arbor: The University of Michigan.