

FFI RAPPORT

GRAFISKE SKYTETABELLER FOR 155 mm ARTILLERI

HAARSETH Egil

FFI/RAPPORT-2006/03335

**GRAFISKE SKYTETABELLER FOR 155 mm
ARTILLERI**

HAARSETH Egil

FFI/RAPPORT-2006/03335

FORSVARETS FORSKNING SINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

FORSVARETS FORSKNING SINSTITUTT (FFI)
Norwegian Defence Research Establishment

UNCLASSIFIED

P O BOX 25
 NO-2027 KJELLER, NORWAY
REPORT DOCUMENTATION PAGE

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2006/03335	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 25
1a) PROJECT REFERENCE FFI	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE GRAFISKE SKYTETABELLER FOR 155mm ARTILLERI GRAPHICAL FIRING TABLES FOR 155mm ARTILLERY		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) HAARSETH Egil		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH:		
a) <u>Artillery</u>		IN NORWEGIAN:
b) <u>Ammunition</u>		a) <u>Artilleri</u>
c) <u>Graphical Firing Table</u>		b) <u>Ammunisjon</u>
d) <u>Fire Control</u>		c) <u>Grafisk Skytetabell</u>
e) <u>Firing Data</u>		d) <u>Ildledelse</u>
		e) <u>Skytedata</u>
THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT The artillery uses graphical firing tables as backup to determine firing data when the fire control system does not function. Graphical firing tables are easy and quick to use compared to tabular firing tables. The graphical firing table consists of a main diagram for determination of quadrant elevation, azimuth of fire and fuze setting. Shells carrying illumination or bomblets use a supplementary diagram to determine a correction to quadrant elevation and fuze setting to get airburst. There is a separate diagram for each projectile and propellant charge combination. There is a need to complete graphical firing tables for new projectile and propellant charge combinations. This report documents the work that has been done at FFI to develop an application for production of such diagrams. The application consists of software written in Ada to generate tables and a Visual Basic application in Excel to plot the diagrams. The Ada software uses the NABK (NATO Armaments Ballistic Kernel).		
9) DATE 2007-01-19	AUTHORIZED BY This page only Johnny Bardal	POSITION Director

ISBN 978-82-464-1099-9

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHOLD

	Side	
1	INNLEDNING	7
2	GRAFISKE SKYTETABELLER	8
3	PROGRAM	11
3.1	Ada-program	12
3.1.1	Gengft	12
3.1.2	Process	13
3.2	Excel-ark	16
3.2.1	Utskrift og konvertering til PDF	19
4	RESULTATER	20
4.1	NM28, M110 og M485A2	20
4.2	DM642	21
4.3	Brannrør	21
5	OPPSUMMERING	21
A	LADNINGSVALG	22
B	EKSEMPEL GRAFISK SKYTETABELL	23
B.1	Hoveddiagram	23
B.2	Tilleggsdiagram	24
	Litteratur	25

GRAFISKE SKYTETABELLER FOR 155mm ARTILLERI

1 INNLEDNING

Grafiske skytetabeller benyttes som siste alternativ for beregning av skytedata når NORTaC-Odin2 og eventuelt annet dataverktøy er ute av drift.

Det finnes grafiske skytetabeller (1) for en del 155mm artilleriammunisjon, nærmere bestemt DM642 og NM28/M485A2 med ladningene NM23 3W-7W og DM52 8.

Som følge av nyanskaffede granater og ladninger de senere årene er det behov for å komplettere settet med grafiske skytetabeller. Det er ikke kjent hvordan eksisterende grafiske skytetabeller ble generert i sin tid utover at grunnlagsdata ble beregnet med ballistikkprogrammet Calcul og deretter plottet med Excel. Sannsynligvis ble dette gjort manuelt. Det er derfor behov for et program som kan gjøre jobben mest mulig automatisk. Videre er det naturlig at denne bruker NABK (2) til å utføre ballistikkberegninger. Dette er samme programvaren som brukes av NORTaC-Odin2. Ballistikkdata som er benyttet i generering av grafiske skytetabeller er omtalt i (3).

FFI har utviklet et slikt program. Arbeidet er utført som del av prosjekt 1022 – Ytreballistikk og aerodynamikk. Formålet med denne rapporten er å beskrive programmet og problemstillinger knyttet til generering av grafiske skytetabeller.

Rapporten er bygget opp på følgende måte. Avsnitt 2 forklarer hva en grafisk skytetabell er og hvordan den kan brukes til å bestemme skytedata. Videre omtales hvilke unøyaktigheter som er forbundet med skytedata fra grafisk skytetabell. De to største er at V_0 (utgangshastighet) og atmosfæren som granaten flyr gjennom ikke alltid samsvarer med det som er forutsatt ved beregning av grafiske skytetabeller. Videre skaper jordens rotasjon unøyaktighet, spesielt i granatens nedslagpunkt på tvers av skyteretningen. Dette kommer av at grafiske skytetabeller ikke tar hensyn til Coriolis kraft. Unøyaktighetene medfører at det vanligvis er behov for innskyting eller kontrollskyting.

Avsnitt 3 beskriver programmet som er utviklet for å generere skytetabellene. Dette avsnittet er teknisk orientert og beregnet for de mer interesserte. Avsnittet er ikke vesentlig for å forstå konseptet med grafiske skytetabeller. Avsnitt 4 oppsummerer hvilke ammunisjon det er generert grafiske skytetabeller for og gir noen kommentarer knyttet til selve genereringen. Det er generert grafiske skytetabeller for den ammunisjon vi i dag har på lager, dvs. for granatene DM642, DM662, NM28/M110/M485A2, OEF3HB og OEF3BB med alle kvalifiserte ladninger og for brannrøret som anses som standard.

2 GRAFISKE SKYTETABELLER

Bruk av grafiske skytetabeller¹ er en rask og enkel måte å bestemme skytedata på. Eksempel på grafisk skytetabell er vist i Appendiks 0. Det er kun generert grafiske skytetabeller for skyting med undergrader. Det er også mulig å generere grafiske skytetabeller for skyting med overgrader, men det foreligger ikke behov for det. Årsaken er at det i svært få tilfeller kun er mulig å gjennomføre en beskytning med overgrader, og at grafiske skytetabeller er en reserveløsning.

Grafiske skytetabeller består av hoveddiagram som brukes til å finne elevasjon og tempering for en bestemt skyteavstand og høydeforskjell mellom skyts og mål. Skytedata gjelder for detonasjon på bakkenivå. Diagrammets vannrette akse viser skyteavstand og diagrammets loddrette akse viser høydeforskjell. Skytedata finnes ved å markere punktet i diagrammet som tilsvarer ønsket skyteavstand og høydeforskjell. Deretter leses elevasjonen av fra blå linjer og tempering fra røde linjer. Avstanden mellom to blå linjer er 10 streker² i elevasjon, og avstanden mellom to røde linjer er ett sekund i tempering. Elevasjon leses av etter beste evne til nærmeste strek og tempering til nærmeste tidels sekund.

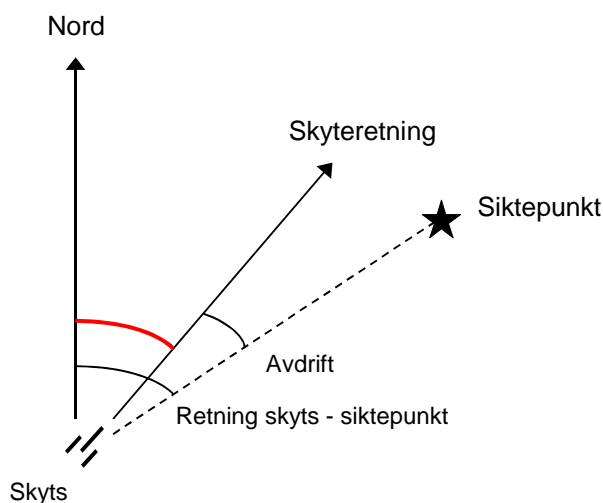
Under diagrammet finnes en skala som viser avdrift til høyre i streker. Skyteretning finnes ved å lese av avdrift for ønsket skyteavstand til nærmeste strek. Skyteretning blir da retning for linjen mellom skyts og siktepunkt minus avlest avdrift. Merk at skyteretningen alltid vil ligge til venstre for linjen mellom skyts og siktepunkt. Figur 2-1 viser prinsippet. Årsaken er at en spinnende granat utsettes for aerodynamisk løft som gjør at den dras mot høyre.

Sidevind fra høyre drar granaten mot venstre og kan i ekstreme tilfeller gjøre at NORTaC-Odin2 beregner skyteretning som sammenfaller med eller ligger til høyre for linjen mellom skyts og mål. Grafiske skytetabeller tar imidlertid ikke hensyn til vind, og skyteretningen vil derfor alltid ligge til venstre for linjen mellom skytes og siktepunkt.

Det finnes eget diagram for hver kombinasjon av granat og ladning. Intervallet i skyteavstand som ladningen primært skal brukes til er markert med fet linje på skalaen under diagrammet. Videre er diagrammene markert med og beregnet med utgangspunkt i et bestemt brannrør og skytstype. Forskjell i skytedata når annet brannrør brukes er imidlertid så liten at samme diagram benyttes for alle lovlige brannrør. Det markerte er primærbrannrøret for granaten. For tiden har artilleriet kun én skytstype (M109A3GN). Ved eventuell anskaffelse av moderne 52 kaliber skyts må sannsynligvis nye diagrammer for denne skytstypen genereres. Dette på grunn av at 52 kaliber skyts har annen V_0 enn 39 kaliber skyts for samme kombinasjon av granat og ladning.

¹ Grafiske skytetabeller er strengt tatt ikke tabeller men diagrammer. Det antas at ordet tabell likevel benyttes da grafiske skytetabeller, i likhet med ordinære skytetabeller, brukes for å bestemme skytedata.

² Streker er vinkelenhet som brukes mye i artillerisammenheng, 6400 streker tilsvarer 360^0 eller 2π radianer.



Figur 2-1 Skyteretning, markert i rødt, tilsvarer retning for linje mellom skyts og siktepunkt minus avdrift. Avdrift leses av fra hoveddiagrammet.

Granater med cargo og lys har et tilleggsdiagram som viser korreksjon i elevasjon og tempering slik at funksjonspunktet heves fra bakkenivå til korrekt høyde over bakken. Tilsvarende hoveddiagrammet viser vannrett akse skyteavstand og loddrett akse høydeforskjell mellom skyts og mål. Korreksjon i elevasjon og tempering finnes ved å markere punktet som tilsvarer ønsket skyteavstand og høydeforskjell. Korreksjon i elevasjon leses av fra blå linjer og korreksjon i tempering fra røde linjer. Avstanden mellom to blå linjer i streker og to røde linjer i sekunder varierer fra diagram til diagram. Korreksjon i elevasjon leses av etter beste evne til nærmeste strek og korreksjon i tempering til nærmeste tidels strek.

Elevasjon som gir funksjonspunkt i korrekt høyde over bakken er elevasjon fra hoveddiagrammet pluss korreksjonen fra tilleggsdiagrammet. Tilsvarende er tempering som gir funksjonspunkt i korrekt høyde over bakken tempering fra hoveddiagrammet pluss korreksjonen fra tilleggsdiagrammet. Merk at korreksjon i tempering vanligvis er negativ, med andre ord er tempering som gir funksjonspunkt over bakken lavere enn tempering som gir bakkedetonasjon.

Korrekt funksjonshøyden for granater med bomblets er den høyden som gir 8.5 sekunders falltid for bomblets. Her menes det egentlig såkalte senterbomblets som utgjør staven i midten av granaten og som derfor lander midt i spredningsmønsteret. Korrekt funksjonshøyde for granater med lys er den høyden som gjør at lyselementets fallskjerm åpnes 600 meter over bakken. Videre skal lyselementet falle i 8 sekunder før fallskjermen åpnes.

Grafiske skytetabeller forutsetter såkalte standardforhold som her innebærer:

- Atmosfæren som granaten flyr gjennom kan beskrives med ICAO standard atmosfære. Dette betyr at trykk og temperatur følger en fastlagt profil som tilsvarer midlere atmosfære for den nordlige halvkule. Videre antas det ingen vind og at skytset befinner seg på havnivå.
- Granatmassen er lik standard masse. Dette tilsvarer vektklasse 4, med unntak at OEF3HB/BB som benytter vektklasse 3 som standard³. Granatmassen inkluderer massen til brannrøret som er markert på diagrammet.
- V_0 er lik standard. Dette innebærer at krutttemperaturen er $21\text{ }^{\circ}\text{C}$, granaten har standard masse og at det ikke er noe V_0 -tap på grunn av rørslitasje. For granater med baseburn er motorens temperatur også $21\text{ }^{\circ}\text{C}$.

I praksis vil aktuelle forhold svært sjelden eller aldri tilsvare standard forhold. De to største bidragene er forskjell i V_0 som følge av nedkjørt krutt og at atmosfære i mindre grad samsvarer ICAO standard atmosfære. Nedkjøling av krutt, dvs. at temperaturen er lavere enn $21\text{ }^{\circ}\text{C}$, medfører at V_0 reduseres. Reduksjonen i V_0 kan være opp til 1 m/s per $^{\circ}\text{C}$. Oppvarming av krutt medfører tilsvarende økning i V_0 , men under norske forhold er nok avkjøling mest vanlig. Når det gjelder atmosfæren forutsetter ICAO standard atmosfære ingen vind, noe som svært sjelden er tilfellet. Dessuten medfører plassering av skytset over havnivå at granaten flyr lenger fordi luften er tynnere (lavere tetthet).

Fordi jorden roterer om sin egen akse påvirkes granaten av Corioliskraft. Dersom vi ikke tar hensyn til denne kraften når vi beregner skytedata bommer vi både i avstand og side. Feilen i avstand avhenger av skyteretning og breddegrad. Feilen er størst når vi skyter rett mot øst eller rett mot vest, men med forskjellig fortegn. Når vi skyter mot øst øker skyteavstanden, og når vi skyter mot vest avtar skyteavstanden. Feilen avtar når skyteretningen dreies mot nord eller sør, og er lik null når vi skyter rett mot nord eller sør. Videre er feilen størst ved ekvator og avtar når vi flytter oss nordover eller sørover. Feilen i side avhenger av breddegrad men er uavhengig av skyteretningen. På den nordlige halvkule er feilen i side alltid mot høyre, og på den sørlige alltid mot venstre. Feilen er null ved ekvator og øker når vi flytter oss nordover eller sørover. Feilen i både avstand og side øker når skyteavstand og flytid øker.

På våre breddegrader (60° nord) med skyteavstand på 24 km blir feilen på grunn av Corioliskraft i størrelsesorden 30 meter i avstand og 100 meter i side. Førstnevnte er maksimal feil ved skyting i øst-vest retning. Sistnevnte er uavhengig av skyteretningen og går alltid til høyre på den nordlige halvkule. Grafiske skytetabeller skal gjelde for alle skyteretninger og alle breddegrader og kan derfor ikke ta hensyn til Corioliskraft.

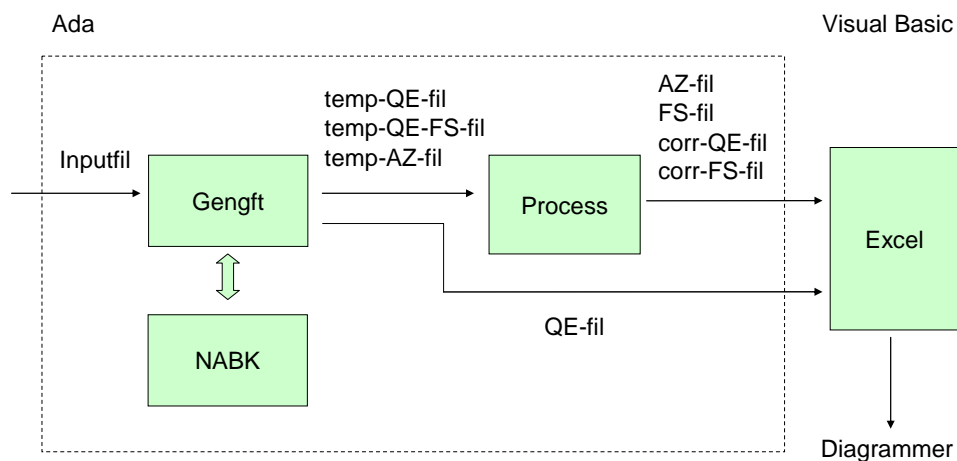
Gravitasjonen varierer litt med breddegraden, dvs. at den øker med økende breddegrad med den følge at skyteavstanden avtar. Skytetabeller beregnes vanligvis for 45° . Det vil være mer naturlig å ta utgangspunkt i våre breddegrader ved beregning av grafiske skytetabeller. Grafiske skytetabeller er derfor beregnet med 60° .

³ OEF3HB/BB granaten har egentlig vektklasse 4 som standard, men de fleste lottene vi har er av vektklasse 3. Det blir derfor mest korrekt å legge vektklasse 3 til grunn ved beregning av grafiske skytetabeller.

Følgelig vil skytedata også være forbundet med usikkerhet pga gravitasjon og Coriolis. Samlet medfører dette at skytedata hentet fra grafisk skytetabell er forbundet med en viss usikkerhet. Usikkerheten er vanligvis større enn når skytedata beregnes med NORTaC-Odin2, og følgelig forventes det at bomavstanden øker. For å kompensere for dette er det vanligvis behov for innskyting eller kontrollskyting når skytedata bestemmes fra grafisk skytetabell.

3 PROGRAM

Program for generering av diagrammer er skissert i figur 3.1 og består av tre trinn. Første og andre trinn er programmer skrevet i Ada og kalles henholdsvis *Gengft* og *Process*. Programmet *Gengft* utfører ballistikkberegninger vha NABK⁴ (2) og genererer nødvendig datagrunnlag som lagres i et sett med tekstfiler. Deler av datagrunnlaget kan plottes direkte, mens resten er på et format som krever videre prosessering. Dette gjøres av programmet *Process*. Siste trinn består av et Excel-ark som leser ferdige tekstfilene med datagrunnlag og plotter diagrammene. Excel-arket inneholder prosedyrer skrevet i Visual Basic (VBA).



Figur 3.1 Program bestående av Ada-program og Excel-ark med prosedyrer i Visual Basic.

⁴ Versjonen som brukes er NABK 6.0.NO.4. Dette er en nasjonal versjon basert på NABK 6.0. I praksis har forskjellen mellom disse versjonene ingen betydning for beregning av grafiske skytetabeller.

3.1 Ada-program

Dette avsnitt beskriver Ada-programmene *Gengft* og *Process*.

3.1.1 Gengft

Gengft utfører ballistikkberegninger vha NABK. Nærmere bestemt beregner det nødvendig datagrunnlag for elevasjon, tempering og avdrift. For granater med bomblets eller lys beregner det også korreksjon i elevasjon og tempering slik at funksjonspunktet heves til korrekt høyde over bakken.

Programmet leser først en *inputfil* som inneholder følgende:

- Ammunisjon (granat, brannrør og ladninger) samt skytstype
- Elevasjon ved maksimal skyteavstand
- Avgrensning i skyteavstand (minimum og maksimum)
- Avgrensning i høydeforskjell mellom skyts og mål (minimum og maksimum)
- V_0 (utgangshastighet)
- De enkelte ladningers primære bruksområde (minimum og maksimum skyteavstand)

Det angis én inputfil per granattype.

Elevasjon bestemmes rett frem ved å beregne granatbane for hver tiende strek. Laveste elevasjon er 10 streker og høyeste tilsvarer elevasjon ved maksimal skyteavstand under standardforhold avrundet nedover til nærmeste 10 strek. Tempering bestemmes med utgangspunkt i beregnet flytid til hvert punkt i granatbanene. Flytiden regnes deretter om til tempering som ikke alltid er lik flytid. For mekaniske tidsbrannrør er tempering også avhengig av granatens spinnhastighet. Avdrift i streker beregnes for hver 100 meter skyteavstand.

Når det gjelder korreksjon i elevasjon og tempering beregnes dette for hvert gridpunkt i et todimensjonalt område med skyteavstand langs horisontal akse og høydeforskjell skyts og mål langs vertikal akse. Området avgrenses av minimum og maksimum fra inputfilen. Oppløsningen er 100 meter horisontalt og 20 meter vertikalt. Høydeforskjell skyts og mål er noe større enn diagrammene for å sikre at linjene i tilleggsdiagrammet strekker seg helt til kanten.

Programmet beregner granatbane med siktepunkt som tilsvarer hvert av gridpunktene. Det beregnes granatbane både med bakkedetonasjon og med funksjonering i korrekt høyde over bakken. Beregningen starter i hjørnet nederst til venstre, går mot høyre (høyde holdes fast) og hopper deretter til neste høyde. Rekkefølgen er vist i figur 3.2.

Følgende lagres for hvert gridpunkt: Skyteavstand, høydeforskjell, elevasjon og tempering ved bakkedetonasjon og korreksjon i elevasjon og tempering ved funksjonering over bakken. Korreksjon i elevasjon tilsvarer elevasjon ved funksjonering over bakken minus elevasjon ved bakkedetonasjon. Det tilsvarende gjelder for tempering. Merk at korreksjon i tempering vanligvis blir negativ.

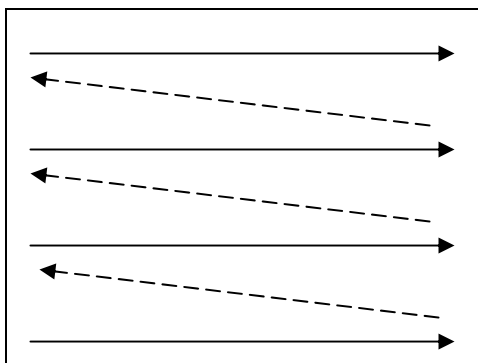


Figure 3.2 Beregningsrekkefølge sett fra diagrammet. Horisontal akse er skyteavstand mens vertikal akse er høydeforskjell mellom skyts og mål.

Resultatet lagres i et sett med fire tekstfiler som beskrives nedenfor. Innholdet i den første kan plottes direkte i Excel, mens de øvrige er på et mellomformat (tempfiler) som krever videre prosessering. Det genereres eget sett med tekstfiler for hver kombinasjon av granat og ladning.

QE-filen inneholder settet med granatbaner med elevasjon for hver tiende strek. Hver linje inneholder data for ett punkt på granatbanen og består av avstand og høyde samt tilhørende elevasjon og tempering. Granatbanene plottes i hoveddiagrammet og vises som blå linjer.

Temp-QE-filen er nesten identisk med QE-filen ovenfor. Forskjellen er at QE-filen inneholder tom linje mellom hver granatbane, noe temp-QE-filen ikke gjør. Hensikten er å lagre tempering for videre prosessering. Det vi ønsker er konturlinjer som representerer tempering for hvert sekund.

Temp-AZ-filen inneholder avdrift for hver 100 meter skyteavstand. Vi ønsker egentlig det motsatte, skyteavstand for hver strek avdrift. Dette krever videre prosessering.

Temp-QE-FS-filen inneholder data for hvert gridpunkt beskrevet ovenfor. Hver linje inneholder data for ett gridpunkt. Rekkefølgen tilsvarer beregningsrekkefølgen vist i figur 3.2. Det gir imidlertid ikke mening å plote data på dette formatet. Videre prosessering er derfor nødvendig for å finne konturlinjer som representerer korreksjon i elevasjon for hver strek og tempering for hvert tidels sekund.

3.1.2 Process

Process leser tempfilene beskrevet ovenfor og prosesserer innholdet på en slik måte at det kan plottes i Excel.

Innholdet i temp-AZ-filen prosesseres for å finne skyteavstand for hver strek avdrift. Algoritmen starter med laveste avdrift. Deretter søker den nedover i temp-AZ-filen etter linjen hvor beregnet avdrift er større enn søkt avdrift samtidig som beregnet avdrift i linjen over er mindre. Skyteavstand for søkt avdrift finnes ved lineær interpolasjon mellom beregnet skyteavstand fra disse to linjene. Lineær interpolasjon antas å gi tilstrekkelig nøyaktig. Avdrift

med tilhørende skyteavstand logges fortløpende. Avdriften økes med én strek og søket fortsetter. Søket avsluttes når slutten av temp-AZ-filen er nådd.

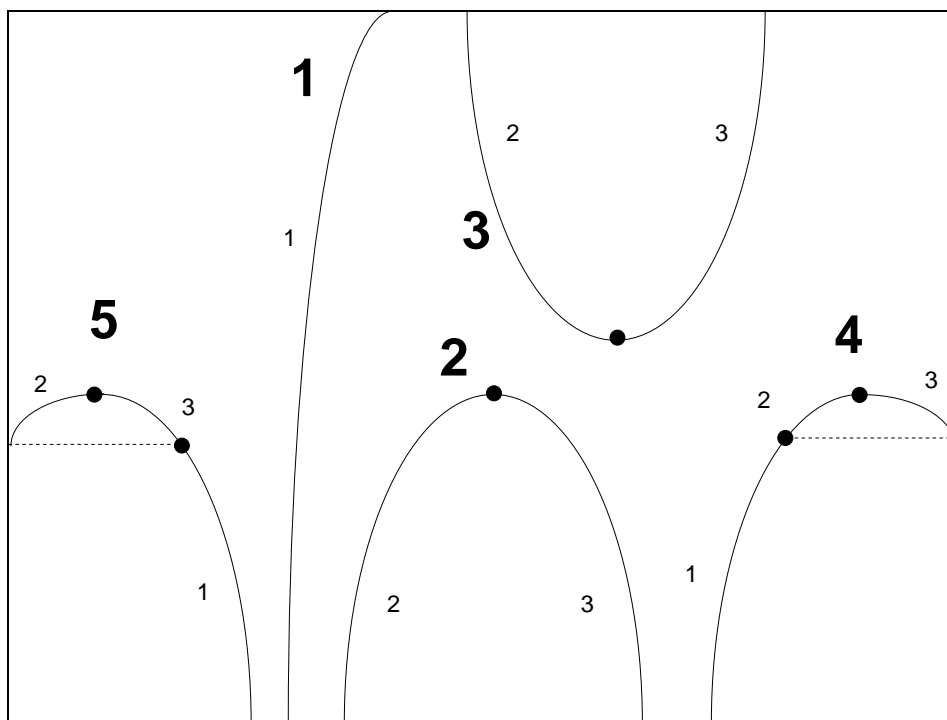
Tempering i temp-QE-filen prosesseres for å finne konturlinjer som representerer tempering for hvert sekund. Algoritmen starter med laveste tempering. Deretter søker den gjennom temp-QE-filen etter linjen hvor beregnet tempering er større enn søkt tempering samtidig som beregnet tempering i linjen over er mindre. Avstand og høyde som gjelder for søkt tempering bestemmes ved lineær interpolasjon. Sett fra diagrammet tilsvarer søkerrekkefølgen etter punkter på konturlinjen beregningsrekkefølgen i figur 3.2. Punkt bestående av avstand og høyde samt tilhørende tempering logges fortløpende. Søkt tempering økes med ett sekund og algoritmen gjentas. Søket fortsetter til og med høyeste tempering. Hver tempering innebærer nytt søk gjennom temp-QE-filen. Resultatet er punkttrekker med konturlinjer. Fordi konturlinjene er stigende, dvs. høyden øker når avstanden øker, kan punkttrekkene plottes slik de er.

Innholdet i temp-QE-FS-filen prosesseres for å finne konturlinjer som representerer bestemte korreksjoner i streker eller sekunder. Algoritmen er lik for begge korreksjonene. Den starter med laveste korreksjon og søker gjennom temp-QE-FS-filen. Den videre gangen tilsvarer prosessering av temp-QE-filen. Det er imidlertid en vesentlig forskjell – konturlinjen er ikke alltid kun stigende, eller kun synkende. Punktene må derfor sorteres slik at de danner en sammenhengende linje. Hvis ikke vil plott av punkttrekkene i Excel fortone seg noe uryddig.

Sortering av punktene bygger på at konturlinjen har en av fem forskjellige former vist i figur 3.3. Form 1 er stigende, eller synkende, i hele intervallet. Form 2, 4 og 5 har alle toppunkt, men starter og slutter på forskjellige steder (venstre, nedre eller høyre kant av diagrammet). Form 3 har bunnpunkt og kan anta alle tre varianter med hensyn på start og slutt. Formene er videre satt sammen av opp til tre deler, nummerert fra 1 til 3. Delene er vist med små tall i figur 3.3. F.eks. består form 5 av tre deler. Sett fra venstre mot høyre starter formen med del 2. Deretter går del 3 fra toppunktet til samme høyde som del 2 starter. Formen avslutter med del 1.

Delenes rekkefølge er resultat av måten punktene logges. Når algoritmen søker etter punkter på konturlinjen plasseres første punkt alltid i del 1. Dersom algoritmen finner et punkt til på samme høyde plasseres det i del 3. Det første punktet flyttes deretter fra del 1 til del 2.

Når det kun finnes ett punkt på konturlinjen for den aktuelle høyden blir dette værende i del 1. Dersom algoritmen har funnet to punkter i en bestemt høyde og senere finner kun ett, plasseres dette likevel i del 2 eller 3. Algoritmen sammenligner avstanden mellom dette punktet og siste registrerte punkt i del 2 og del 3. Dersom avstanden mellom punktet og siste registrerte punkt i del 2 er kortest velges del 2, hvis ikke velges del 3. Dette sikrer at variantene av form 3 som starter i venstre kant eller slutter i høyde kant behandles riktig. Dessuten vil et toppunkt i form 2, 4 eller 5 plasseres riktig. Et bunnpunkt i form 3 vil derimot ikke plasseres riktig. Det er likevel liten sannsynlighet for at et enkelt toppunkt eller bunnpunkt skal forekomme. Beregnet korreksjon og konturlinjens korreksjon må da sammenfalle med seks siffrers nøyaktighet.



Figur 3.3 Konturlinjer forutsettes å ha en av fem forskjellige former. Videre vil hver form bestå av opp til tre deler. Formene er nummerert med store tall og delene med små tall.

Det første punktet i en konturlinje av form 5 vil i henhold til algoritmen plasseres i del 1. Etter en viss høyde finnes det to punkter per høyde. Første punkt ender da opp i del 2, mens andre punkt plasseres i del 3. Tilsvarende betraktning for de øvrige formene resulterer i sammensetning av deler vist i figur 3.3.

Det er imidlertid ytterligere en utfordring. Punktene er nå plassert i opp til tre deler. Hvordan skal delene settes sammen for å få en sammenhengende linje? Rekkefølgen avhenger av formen og vi må derfor først bestemme denne. Videre er punktene i en eller flere deler i motsatt rekkefølge enn det som er ønskelig. I form 5 vil punktene i del 1 og 3 være i motsatt rekkefølge.

Hvilken del det er snakk om avgjøres ved å betrakte figur 3.3. Hvis del 2 og 3 er tomme har vi form 1. Hvis del 1 er tom og del 2 stiger (høyde øker når avstand øker) har vi form 2. Hvis del 1 er tom og del 2 synker (høyde avtar når avstand øker) har vi form 3. For å skille form 4 og 5 må vi se på om siste punkt i del 1 ligger nærmest første punkt i del 2 eller 3. Dette gir henholdsvis form 4 eller form 5.

Sammensetningen av deler for hver enkelt form blir slik:

Form 1: Del 1

Form 2: Del 2 og del 3 i omvendt rekkefølge

Form 3: Del 2 i omvendt rekkefølge og del 3

Form 4: Del 1, del 2 og del 3 i omvendt rekkefølge

Form 5: Del 2, del 3 i omvendt rekkefølge og del 1 i omvendt rekkefølge

Dersom en konturlinje viser seg å ha en helt annen form vil algoritmen ikke fungere. Det kan f.eks. være at konturlinjen har to toppunkter eller to bunnpunkter. En eller annen punktstrekk vil uansett bli generert, men den vil ikke alltid være fullstendig og sammenhengende. Når en slik punktstrekk plottes vil vi lett kunne se at noe er galt. Det er imidlertid ikke observert andre former enn de omtalte.

Programmet *Prosess* genererer følgende fire tekstfiler med innhold som kan plottes i Excel.

AZ-filen inneholder avdrift i streker (hver hele strek) i stigende rekkefølge med tilhørende skyteavstand. Avdrift vises i egen skala under hoveddiagrammet. Filen er resultat etter prosessering av temp-AZ-filen.

FS-filen inneholder konturlinjer for hvert sekund tempering i form av punktstrekker. Konturlinjene vises som blå linjer i hoveddiagrammet. Filen er resultat etter prosessering av temp-QE-filen. Hver linje inneholder data for ett punkt og består av avstand og høyde samt tilhørende elevasjon og tempering.

Corr-QE-filen inneholder konturlinjer for korreksjon i elevasjon slik at detonasjonen heves fra bakkenivå til riktig høyde over bakken. Konturlinjene er gitt i form av punktstrekker og vises som blå linjer i tilleggsdiagrammet. Filen er resultat etter prosessering av temp-QE-FS-filen. Hver linje inneholder data for ett punkt og består av avstand og høyde samt tilhørende korreksjon i elevasjon.

Corr-FS-filen inneholder konturlinjer for korreksjon i tempering slik at detonasjonen heves fra bakkenivå til riktig høyde over bakken. Konturlinjene er gitt i form av punktstrekker som vises som røde linjer i tilleggsdiagrammet. Filen er resultat etter prosessering av temp-QE-FS-filen. Hver linje inneholder data for ett punkt og består av avstand og høyde samt tilhørende korreksjon i tempering.

Til sammen inneholder QE-filen beskrevet i avsnittet ovenfor og AZ-filen, QE-filen, corr-QE-filen og corr-FS-filen beskrevet i dette avsnittet nødvendig datagrunnlaget for å kunne plote grafiske skytetabeller. De to siste filene genereres kun for granater med bomblets eller lys.

3.2 Excel-ark

Excel-arkets oppgave er å plote ferdig behandlet datagrunnlag i form av punktstrekker, og det helst på en mest mulig automatisert måte. Flere verktøy ble vurdert, bla. matlab. Valget falt på Excel med bruk av Visual Basic-verktøyet.

Figur 3.4 viser Excel-applikasjonens ”main sheet”. For å plote diagrammer må vi fylle inn en del felter og trykke på noen knapper. De enkelte feltenes og knappenes betydning beskrives nedenfor. Det må opprettes en ny instans eller arbeidsbok for hver kombinasjon av granat og ladning.

Øverst er det et felt som kan hukes av. Hvis feltet er huket av blir alle feltene og knappene nedenfor låst og *Locked* vises til høyre. Motsatt, hvis feltet ikke er huket av er alle felt og knapper nedenfor åpne og *Open* vises til høyre. Hensikten er å forhindre at man ved en feiltagelse sletter plottede diagrammer.

Følgende felt må fylles ut for å angi ammunisjon og bestemme hvilke filer med datagrunnlag som skal leses inn.

- *Directory* – katalog hvor filene med datagrunnlag befinne seg
- *Projectile* – type- og modellbetegnelse på granat, f.eks. SPRENG NM28
- *Propellant Charge* – ladningstype og nummer, f.eks. NM23 4W
- *Fuze* – type- og modellbetegnelse på brannrør, f.eks. PD M557
- *Weapon* – typebetegnelse på skyts. Her finnes kun 155/39 FH M109A3GN som står for 155mm kaliber, 39 kaliber rørlengde, Field Howitzer og modellbetegnelse M109A3GN.

Page 1 betyr hoveddiagram og *Page 2* betyr tilleggsdiagram. Trykk på *Load* knappen under *Page 1* leser inn AZ-filen, QE-filen, FS-filen. Trykk på *Load* knappen under *Page 2* leser inn corr-QE-filen og corr-FS-filen. Trykk på *Draw* knappene plotter angitt diagram. Data fra filene og diagrammene plasseres på hvert sitt ark. Trykk på *Delete* knappene sletter angitt diagram og tilhørende ark med datagrunnlag.

For å sikre at diagrammene blir mest mulig leselig finnes en del felter nederst på ”main sheet” som angir hvor tett linjene og merkelapper som viser hvilken elevasjon eller tempering linjen representerer skal ligge. Dette varierer fra ladning til ladning og er derfor vanskelig å automatisere i Visual Basic.

Følgende felt gjelder for plotting av hoveddiagrammer:

- *Max QE* – granatbaner til og med denne grensen plottes for hver 10. strek, deretter plottes granatbane for hver 50. strek.
- *Max FS* – konturlinjer for tempering til og med denne grensen plottes for hvert sekund, deretter plottes konturlinje for hvert 5. sekund.
- *Min Scale* – start på skala i meter langs horisontal akse, 0 indikerer at start skal hentes fra inputfilen.
- *Max Scale* – slutt på skala i meter langs horisontal akse, 0 indikerer at slutt skal hentes fra inputfilen.

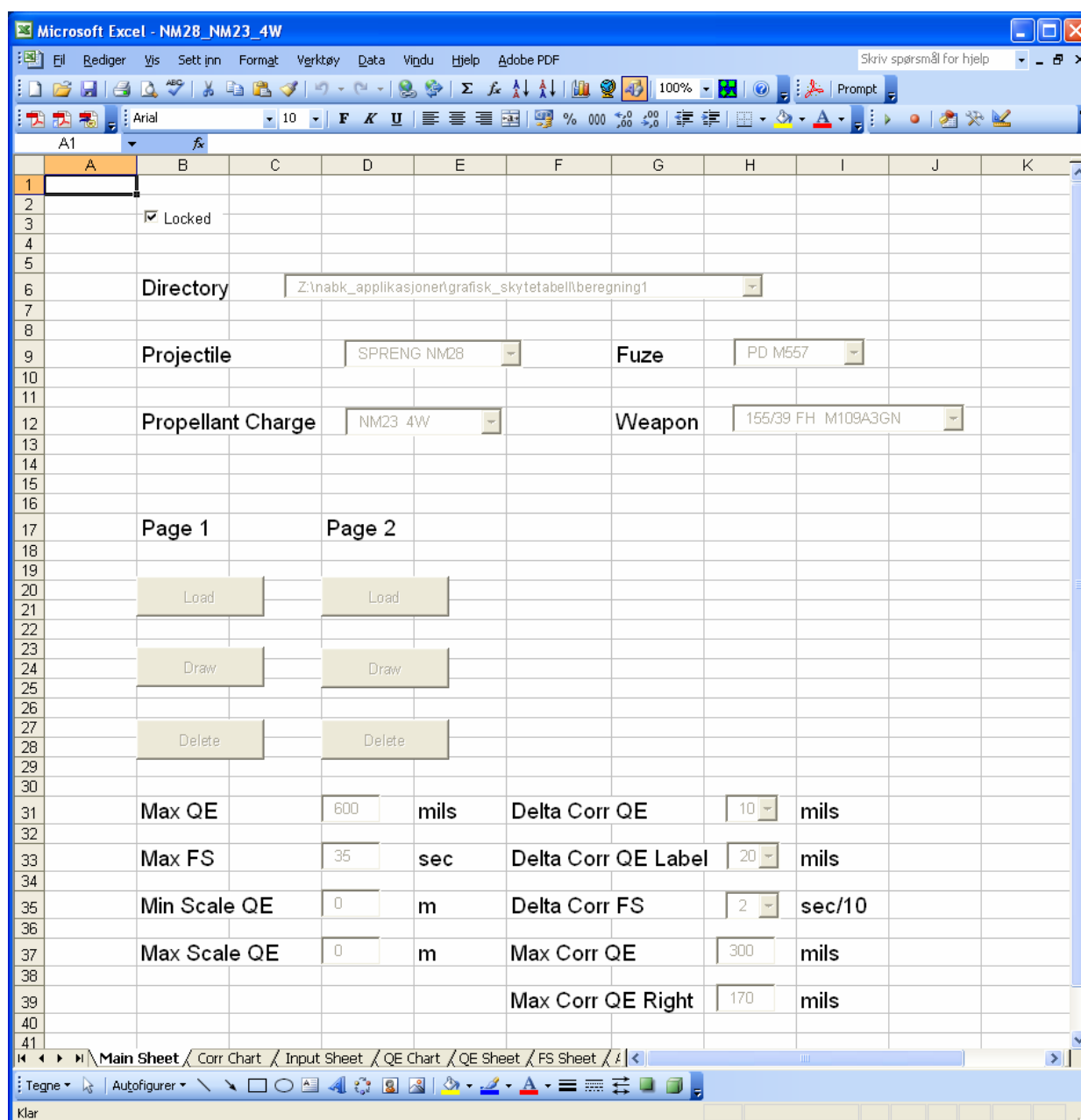
De to siste feltene tenkes brukt når skyteavstander for en bestemt kombinasjon av granat og ladning må dekkes av to diagrammer på grunn av plassproblem. Feltene gjelder også for tilleggsdiagram.

Følgende felt gjelder for plotting av tilleggsdiagram:

- *Delta Corr QE* – forskjell i streker mellom konturlinjer for korreksjon i elevasjon, settes til 1, 2, 5, 10 eller 20 streker.
- *Delta Corr QE Label* – forskjell i streker mellom konturlinjer for korreksjon i elevasjon som

skal ha merkelapp, settes til 1, 2, 5, 10 eller 20 streker. F.eks. betyr *Delta QE* lik 5 og *Delta QE Label* lik 10 at det skal plottes konturlinje for hver 5 strek og at annenhver konturlinje skal ha merkelapp.

- *Delta Corr FS* – forskjell i tidels sekund mellom konturlinjer for korreksjon i tempering, settes til 1, 2, 5 tidels sekund. F.eks. betyr 1 at forskjellen mellom to linjer er 0.1 sekund.
- *Max Corr QE* – konturlinjer for korreksjon i elevasjon over denne grensen plottes ikke.
- *Max QE Right* – konturlinjer for korreksjon i elevasjon over denne grensen plottes ikke på diagrammets høyre side. Det forekommer tilfeller hvor linjene ligger for tett på høyre side men ikke på venstre side av diagrammet. Den delen som ligger til høyre for toppunktet skal derfor ikke plottes.

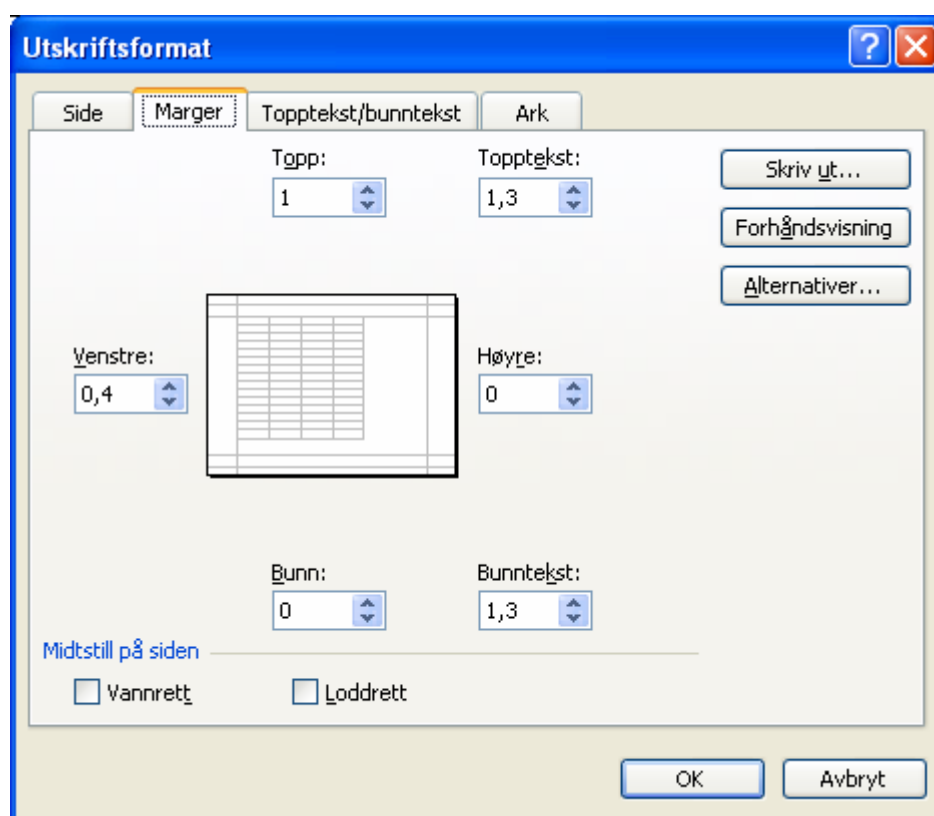


Figur 3.4 Excel-applikasjons "main sheet".

En del detaljer har ikke vært hensiktsmessige å programmere. Dette gjelder spesielt plassering av merkelapper som viser hva konturlinjene representerer. Merkelappene plasseres litt tilfeldig og må derfor justeres manuelt. Likeledes kan det være behov for å fjerne enkelte linjer slik at de ikke ligger for tett. Hvilke innstillinger som gir det beste resultatet må finnes ved ”prøve og feile” metoden.

3.2.1 Utskrift og konvertering til PDF

Diagrammer i Excel kan skrives ut på papir. Dette gjøres best ved å gå til arket med det aktuelle diagrammet og skrive ut ”merkede ark”, ikke velg selve plottet. For at diagrammet skal plasseres på passende sted på arket må margene settes i *Utskriftsformat* under *Fil* menyen, se figur 3.1. For hoveddiagram settes topp lik 1 og venstre lik 0,4. For tilleggsdiagram settes topp lik 0,5 og venstre lik 0,4. Øvrige marger skal være 0. Dessuten skal papirretning liggende (landscape) velges.



Figur 3-1 Utskriftsformat – Marger. For hoveddiagram sett topp lik 1 og venstre lik 0,4 (som vist i figuren). For tilleggsdiagram sett topp lik 0,5 og venstre lik 0,4.

Det er imidlertid mer hensiktsmessig å konvertere til PDF-filer og levere de ferdige diagrammene på denne måten. Pass på at Adobe PDF skriveren under ”Printers and Faxes” på startmenyen er satt til A4 papirstørrelse og papirretning liggende (landscape).

PDF-filene kan deretter skrives ut på papir etter behov. Pass på papirretningen settes til liggende (landscape). Grafiske skytetabeller for granater med bomblets eller lys skrives best ut dobbelt-

sidig med "Flip on Long Edge" slik at hoveddiagrammet og tilleggsdiagrammet blir på hver sin side av arket. For granater av typen spreng benyttes enkeltstående utskrift.

4 RESULTATER

Tabell 4.1 viser hvilke kombinasjoner av granat og ladning som det er generert grafiske skytetabeller for, samt hvilke brannrør og vektclasser som er lagt til grunn. Appendiks 0 viser skyteavstand (minimum og maksimum) som hver enkelt ladning primært skal brukes til og området som diagrammene dekker. Appendiks 0 viser eksempel på hoveddiagram og tilleggsdiagram generert av Excel-arket.

Granat			Brannrør	Ladninger	Tilleggs-Diagram
Navn	Type	Vektklasse			
DM642	Bomblets	4	DM163	NM23 3W-7W DM52 8 DM72 3M-5M	Ja
DM662	Bomblets	4	M762	NM23 7W DM72 3M-5M	Ja
OEF3HB	Spreng	3	NM187	NM23 7W DM52 8 DM72 3M-5M	Nei
OEF3BB	Spreng	3	NM187	NM23 7W DM72 4M-5M	Nei
NM28 M110 M485A2	Lys	4	M557 M565	NM23 3W-7W DM52 8	Ja

Tabell 4.1 *Kombinasjoner av granat og ladning som det er produsert grafiske skytetabeller for.*

Det er knyttet noen kommentarer til grafiske skytetabeller gitt i avsnittene nedenfor.

4.1 NM28, M110 og M485A2

Granatene tilhører M107 familien og har tilnærmet samme ballistiske egenskaper. Granatens masse og dermed også V_0 varierer noe, M485A2 er 1.6 kg lettere og M110 er 1.0 kg tyngre enn NM28. For å redusere antall ark bruker granatene likevel samme grafiske skytetabell. Dette medfører unøyaktighet men er innenfor akseptable grenser.

Hoveddiagrammet gjelder for alle tre granater men beregningene er utført med data for NM28. Videre er brannrør M557 lagt til grunn med hensyn på tempering. Fordi M557 funksjonerer ved anslag vises flytid istedenfor tempering.

Tilleggsdiagrammet gjelder kun for M485A2 og korreksjon i tempering blir litt spesiell. M485A2 bruker M565 som er et mekanisk tidsbrannrør. Korreksjon i tempering blir derfor forskjellen mellom flytid for brannrør M557 med bakkedetonasjon og tempering for brannrør M565 med luftdetonasjon. Dette sikrer korrekt tempering. Når skyteavstanden er nær

maksimum og når målet ligger høyere enn skytset blir korreksjon i tempering positiv. Med andre ord blir tempering med luftdetonasjon større enn flytid med bakkedetonasjon. Vanligvis er korreksjon i tempering negativ.

4.2 DM642

Ladningene NM23 6W og 7W og DM52 8 benytter en formfaktor⁵ som består av to sett med polynomkoeffisienter, for hvert sitt elevasjonsintervall. En mindre diskontinuitet mellom intervallene medfører at enkelte konturlinjer får et unaturlig hakk. For å unngå disse hakkene benyttes kun polynomkoeffisientene for det høyeste elevasjonsintervallet ved beregning av tilleggsdiagrammet. Forskjellen er i størrelsesorden 0.1 strek og må derfor sies å være av mer kosmetisk art.

4.3 Brannrør

Hoveddiagram er beregnet for det markerte brannrørets detonasjonshøyde. Diagram for NM28 gjelder for brannrør M557 som detonerer ved anslag på bakkenivå. Diagram for OEF3HB og OEF3BB gjelder for brannrør NM187 som detonerer ved nærhet som betyr 12 meter over bakken. Dersom det benyttes annet brannrør enn det markerte kan det medføre unøyaktighet pga annen detonasjonshøyde og litt annen masse. Disse feilkildene er likevel små i forhold til andre feilkilder og tas derfor ikke hensyn til. Dette må dessuten sees opp mot ulempen ved å ha egne diagram for hvert brannrør, og kanskje også for hver modus (anslag eller nærhet) som brannrøret kan skytes med.

5 OPPSUMMERING

Dette notatet beskriver et program for generering av grafiske skytetabeller. Grafiske skytetabeller benyttes som siste alternativ for beregning av skytedata. De består av hoveddiagram som viser elevasjon, avdrift (skyteretning) og tempering. For granater med bomblets eller lys benyttes et tilleggsdiagram som viser korreksjon i elevasjon og tempering slik at funksjonspunktet heves til korrekt høyde over bakken.

Det er behov for å komplettere settet med grafiske skytetabeller for nye kombinasjoner av granat og ladning. FFI har utviklet program som kan generere slike diagrammer. Programmet er tredelt, Ada-program som vha NABK genererer datagrunnlaget, Ada-program som prosesserer datagrunnlaget til et format slik at det kan plottes og Excel-ark som plotter diagrammene.

Det er generert diagrammer i form av PDF-filer for aktuelle granater og ladninger.

⁵ Formfaktor er en faktor som multipliseres med beregnet luftmotstand. Hensikten er å justere ballistikkmodellen i lengderetningen slik at den samsvarer med skyting. Faktoren er en funksjon av ladning og elevasjon. Det siste er i form av et polynom.

APPENDIKS

LADNINGSVALG

Tabellen viser skyteavstand (minimum og maksimum) som hver enkelt ladning primært skal brukes til og området som diagrammene dekker. Dersom sistnevnte intervall strekker seg over 8 km benyttes to diagrammer. Det er da minst én km overlapp mellom de to diagrammene.

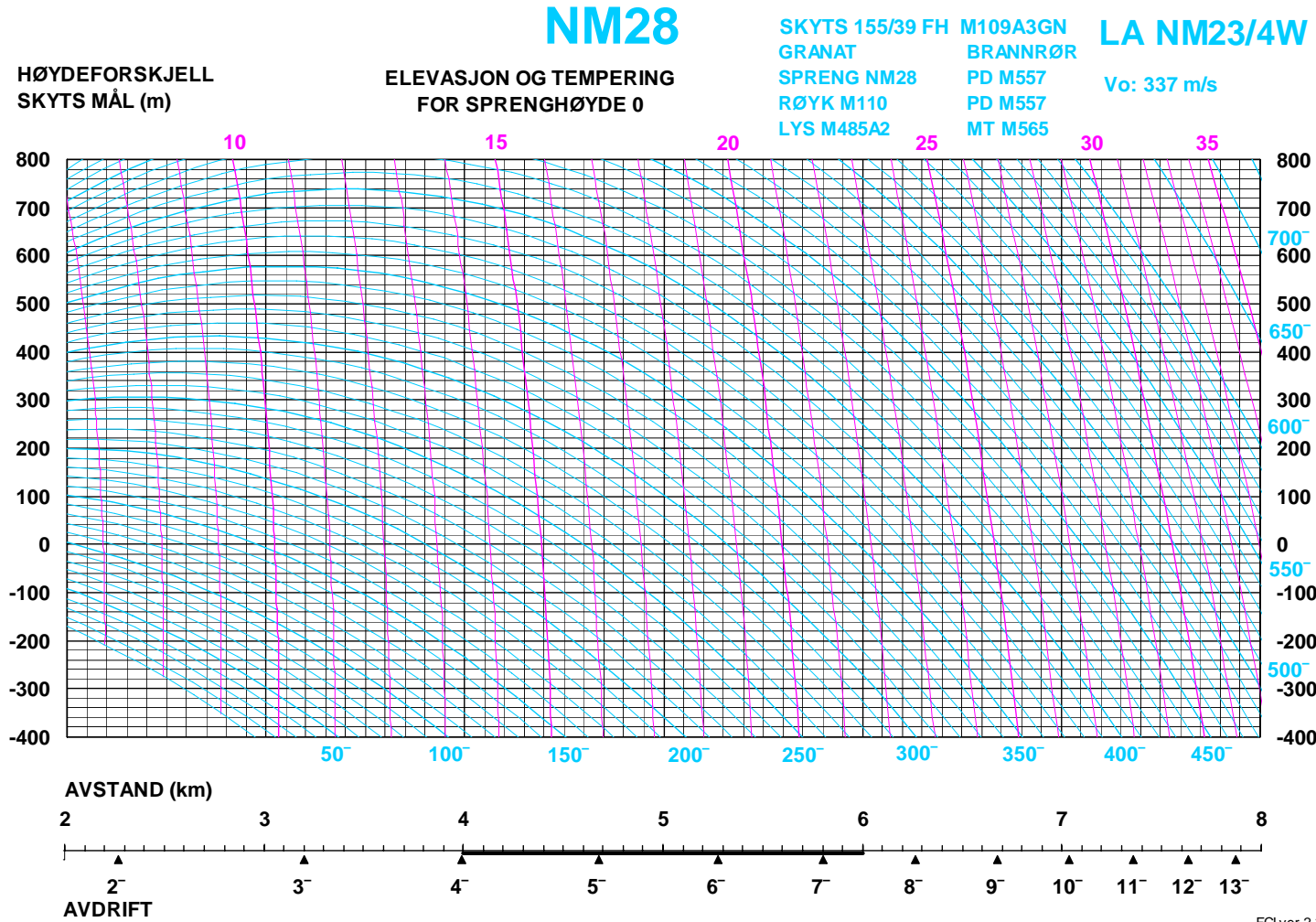
F.eks. dekkes DM662 og DM72 – 5M kombinasjonen av to diagrammer, ett fra 17 – 23 km og ett fra 22 – 28 km.

For granater uten baseburn deles ladninger inn i to systemer hvor NM23 og DM52 utgjør ett system og DM72 et annet. For granater med baseburn er det kun ett system som består av NM23 7W og DM72 4M og 5M. Hvert ladningssystem dekker granatens skuddvidde. For en bestemt skyteavstand vil det som regel være mulig å velge ladning fra hvert av systemene.

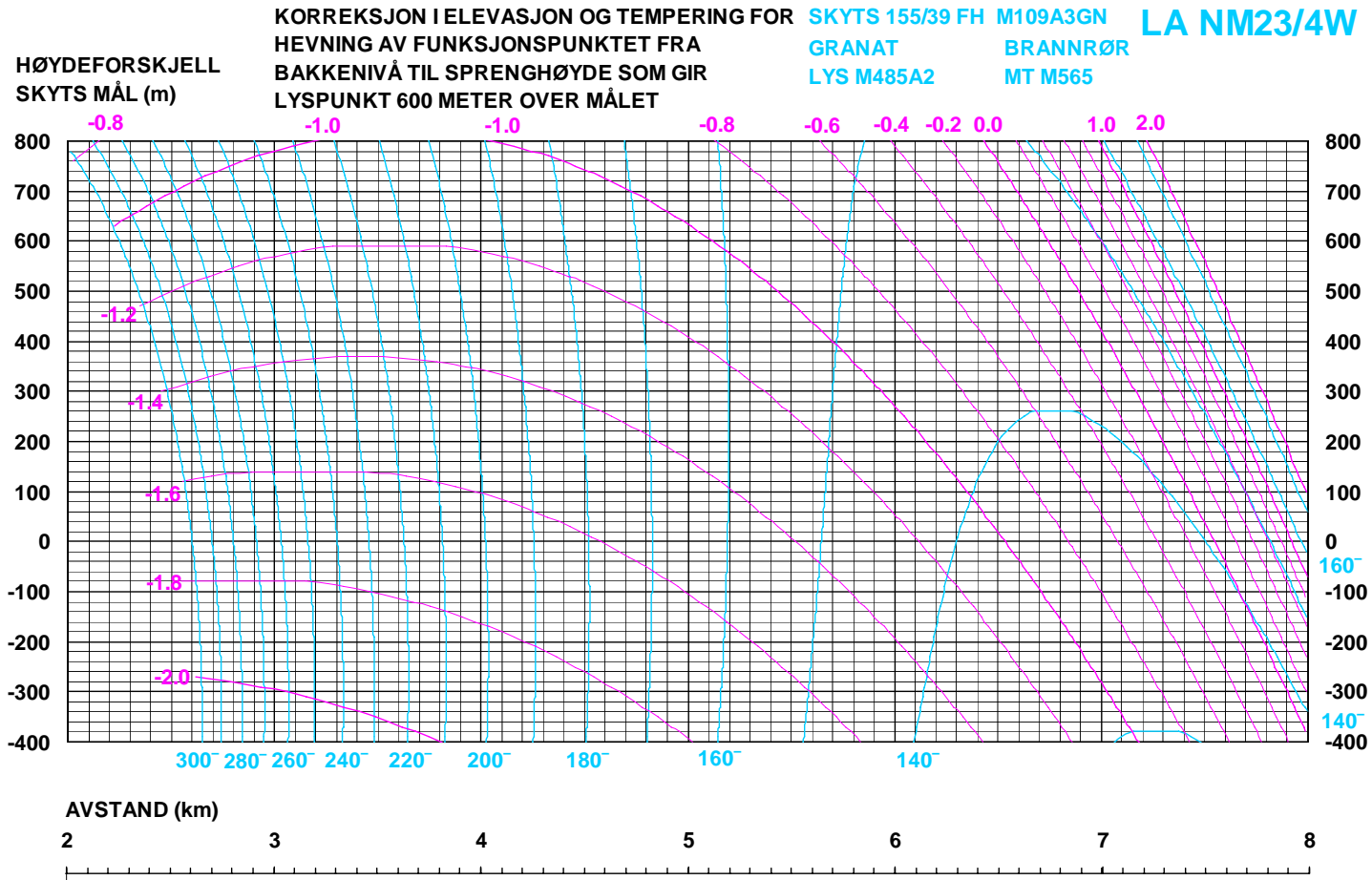
Granat	Ladning	Skyteavstand ladningsvalg (km)		Skyteavstand diagram (km)	
		Min	Maks	Min	Maks
DM642	NM23 – 3W	0	4	0	6
NM28	NM23 – 4W	4	6	2	8
M110	NM23 – 5W	6	8	4	10
M485A2	NM23 – 6W	8	10	6	12
	NM23 – 7W	10	13	9	15
	DM52 – 8	13	18	12	18
DM642	DM72 – 3M	7	11	5	13
	DM72 – 4M	11	15	9	17
	DM72 – 5M	15	22	12	22
OEF3HB	NM23 – 3W	1	5	1	7
	NM23 – 4W	5	7	3	9
	NM23 – 5W	7	9	5	11
	NM23 – 6W	9	11	7	13
	NM23 – 7W	11	14	10	16
	DM52 – 8	14	19	13	19
	DM72 – 3M	8	12	6	14
	DM72 – 4M	12	16	10	18
	DM72 – 5M	16	24	13	24
DM662	NM23 – 7W	10	13	8	16
	DM72 – 4M	13	19	10	21
	DM72 – 5M	19	28	17	28
OEF3BB	NM23 – 7W	11	14	9	17
	DM72 – 4M	14	20	11	22
	DM72 – 5M	20	29	18	29

EKSEMPEL GRAFISK SKYTETABELL

Hoveddiagram



Tilleggsdiagram



Litteratur

- (1) Hærstaben/Artilleriinspektoratet (1991): Grafiske skytetabeller for feltartilleriet.
- (2) Haarseth Egil, Cappelen Didrik, Dullum Ove (1998): NATO Artillery Ballistic Kernel, FFI/RAPPORT-98/05980, Ikke offentlig
- (3) Haarseth Egil (2004): Ballistics for modern 155mm artillery ammunition, FFI/RAPPORT-2004/00949, Ikke offentlig