

# **FFI RAPPORT**

## **NY HÅNDBOK I VÅPENVIRKNINGER - Sluttrapport fra FFI-prosjekt 803.01**

HOLM Knut B

**FFI/RAPPORT-2003/00070**



**NY HÅNDBOK I VÅPENVIKNINGER -  
Sluttrapport fra FFI-prosjekt 803.01**

HOLM Knut B

FFI/RAPPORT-2003/00070

**FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT**  
**Norwegian Defence Research Establishment**  
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge



**FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT (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-2003/00070	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 56
1a) PROJECT REFERENCE V/80301/916	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE NY HÅNDBOK I VÅPENVIKNINGER - Sluttrapport fra FFI-prosjekt 803.01  New weapons effects manual - Summary report FFI project 803.01		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) HOLM Knut B		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: IN NORWEGIAN:		
a) <u>Weapons effects</u>	a) <u>Våpenvirkinger</u>	
b) <u>Calculation program</u>	b) <u>Regneprogram</u>	
c) <u>Matlab</u>	c) <u>Matlab</u>	
d) _____	d) _____	
e) _____	e) _____	
THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT  A revision of the Fortifikasjonshåndbok 1990, del I, Våpenvirkinger (Fortification manual, part I, Weapons effects) has been carried out. The revision includes eight of the chapters in the manual. The updated version is published both in print and on CD as Håndbok i våpenvirkinger (Weapons Effects Manual). The electronic version also includes 14 calculation programs and a series of animations. In this report the principles of the revised book and the basis of the data programs are presented.		
9) DATE 2004-10-18	AUTHORIZED BY This page only Bjarne Haugstad	POSITION Director of Research

**UNCLASSIFIED**

**SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE**  
 (when data entered)



**INNHold**

	<b>Side</b>	
1	INNLEDNING	7
2	HÅNDBOKA	8
2.1	Generelt	8
2.2	Våpendata og definisjoner	10
2.3	Anslags- og splintvirkning	10
2.4	Trykkbølger i luft	10
2.5	Grunnsjokk og kraterdannelse	11
2.6	Undervannssprengning	11
2.7	Radioaktiv stråling	12
2.8	Elektromagnetiske våpen	12
2.9	Varme og brann	12
2.10	Biologiske og kjemiske stridsmidler	13
2.11	Sårbarhetsanalyse	13
3	REGNEPROGRAMMER	13
3.1	Generelt	13
3.2	Splintvirkning	21
3.3	Penetrasjon av pilammunisjon	24
3.4	Penetrasjon i betong, jord og fjell	25
3.5	Luftsjokkstørrelser	29
3.6	Skade på frittstående betongkonstruksjoner	32
3.7	Grunnsjokkstørrelser	33
3.8	Skade på nedgravde betongkonstruksjoner	34
3.9	Kontaktdetonasjon mot betongkonstruksjoner	35
3.10	Sjokkspektrum	36
3.11	Kratre i løsmasser	39
3.12	Kratre i betong	40
3.13	Kratre i fjell	41
3.14	Kratre i rullebaner	42
3.15	Utstøtning og gjennomslag i fjell	43
	APPENDIKS	45
A	LITT OM GRUNNSJOKK	45

A.1	Bølgelengde og varighet	45
A.2	Partikkelforskyvning og –hastighet i fjell	49
B	UTVALGTE EGENSKAPER HOS GRAFISKE OBJEKTER	50
B.1	Felles egenskaper	50
B.2	Figurer	51
B.3	Grafer	51
B.4	Linjer	52
B.5	Flater	52
B.6	UI-styrere	52
C	TILPASSEDE FORMLER FOR KRATERSTØRRELSER I RULLEBANER MED BETONGDEKKE	52
C.1	$Q < 25 \text{ kg}$	53
C.2	$Q > 25 \text{ kg}$	54
	LITTERATUR	56
	FORDELINGSLISTE	57



## NY HÅNDBOK I VÅPENVIKNINGER - Sluttrapport fra FFI-prosjekt 803.01

### 1 INNLEDNING

I 1973 ble den første utgaven av Fortifikasjonshåndbok del I, Våpenvirkninger<sup>1</sup> utgitt av Direktoratet for sivilt beredskap i samarbeid med Forsvarets bygningstjeneste (FBT) og Forsvarets forskningsinstitutt (FFI). Boka omfattet virkningen av konvensjonelle våpen, kjernevåpen, biologiske og kjemiske våpen. Noen av kapitlene kom i ny utgave i 1984, mens den siste versjonen av håndboka ble gitt ut i 1990 (FH1990). Flere av kapitlene i FH1990 er ikke endret siden 1973.

Etter at kapitlene i FH1990 ble skrevet, er det utviklet våpen med større effekt og nye egenskaper, et eksempel er penetrerende våpen. I takt med dette er metodene for å beskytte seg mot våpen og begrense virkningen av dem, blitt bedre. Dessuten har kunnskapen om våpenvirkninger blitt større, og det er utviklet nye eller forbedrede beregningsmodeller.

Dette er bakgrunnen for revisjonen og oppdateringen av FH1990 som nå er gjennomført på oppdrag fra Forsvarsbygg. I hovedsak er det FFI som har gjort arbeidet med den nye versjonen som har fått navnet Håndbok i våpenvirkninger. Oppdateringen har vært en del av FFI-prosjekt 803, Våpenvirkninger og skade på mennesker. En arbeidsgruppe ledet av Forsvarsbygg og med representanter fra FFI og Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) har gitt retningslinjer for arbeidet og prioritert mellom oppgavene.

Den nye håndboka blir gitt ut både i trykt og elektronisk versjon. I tilknytning til boka er det utviklet egne regneprogrammer. Det er også laget animasjoner som viser noen av fenomenene som beskrives i håndboka.

Fortifikasjonshåndboka har vært brukt av Forsvarsbygg, DSB og FFI i forbindelse med våpenvirkningsberegninger som grunnlag for beskyttelsesvurderinger. I tillegg har boka vært brukt i undervisning. Som navnet antyder, har Fortifikasjonshåndboka i stor grad dreid seg om stasjonære anlegg. Utviklingen i forsvarsteknologi har imidlertid satt større fokus på bruk av mobile enheter. Det har vært et mål at den nye håndboka i våpenvirkninger skal beskrive virkninger mot alle typer mål. Da vil også organisasjoner som håndterer mobilt materiell og beskyttelse av dette, være naturlige brukere av håndboka.

Denne rapporten gir en kortfattet beskrivelse av endringer i format og innhold i den reviderte håndboka. For regneprogrammene har rapporten mer preg av en dokumentasjon der oppbyggingen og virkemåten til programmene blir forklart. Det blir referert til grunnlaget for beregningsmetodene, og for enkelte av metodene blir bakgrunnen forklart grundigere.

---

<sup>1</sup> De andre delene er II-Konstruksjonsanvisninger og III-Stridstillinger og støttepunkter.

## 2 HÅNDBOKA

### 2.1 Generelt

FH1990 består av 11 kapitler. Disse er:

1. Våpendata og definisjoner
2. Anslags- og splintvirkning
3. Sprengvirkning
4. Trykkbølger i luft
5. Grunnsjokk
6. Undervannsprengning
7. Radioaktiv stråling
8. Elektromagnetisk puls (EMP)
9. Varme og brann
10. Biologiske og kjemiske stridsmidler
11. Fortifikatorisk analyse

Det er gjennomført revisjon av alle kapitlene bortsett fra kapittel 1, 6 og 9. Når disse er klare, vil de bli inkludert i den nye håndboka. Kapittel 3 og 5 er slått sammen til et nytt kapittel 4, ”Grunnsjokk og kraterdannelse”. Tidligere kapittel 8 har fått tittelen ”Elektromagnetiske våpen”, og kapittel 11 har ny tittel ”Sårbarhetsanalyse”. Håndbokas kapitler er dermed

1. *Våpendata og definisjoner*
2. *Anslags- og splintvirkning*
3. *Trykkbølger i luft*
4. *Grunnsjokk og kraterdannelse*
5. *Undervannsprengning*
6. *Radioaktiv stråling*
7. *Elektromagnetiske våpen*
8. *Varme og brann*
9. *Biologiske og kjemiske stridsmidler*
10. *Sårbarhetsanalyse*

De enkelte kapitlene er trykt som separate hefter.

Oppbyggingen og utformingen av kapitlene følger stort sett følgende prinsipper:

#### 2.1.1 Nummerering

Kapitlene og avsnittene i håndboka er i motsetning til i FH1990 gitt standard nummerering i flere nivåer. Figurer, tabeller og likninger nummereres fortløpende i hvert kapittel med kapittelnummeret foran.

### 2.1.2 Layout

Det er forsøkt å holde en enhetlig stil på figurene, særlig gjelder det skrift. Grafene har også et definert utseende der for eksempel hjelpelinjene er lyseblå med en gitt tykkelse. Figurer som er hentet fra annen litteratur, i første rekke FH1990, er i så stor grad som mulig tilpasset stilen. Det er videre tilstrebet samme skrifttype i tekst, likninger og figurer.

### 2.1.3 Figurer og formler

I overveiende grad blir det i håndboka vist til formler når fysiske størrelser skal bestemmes. For mange av dem vises i tillegg grafiske eksempler på sammenhengen mellom to størrelser. Enkelte størrelser er imidlertid bare gitt i figurer.

FH1990 inneholdt også nomogrammer for å finne størrelser. Bortsett fra ett i kapittel 7 er alle disse tatt ut.

### 2.1.4 Størrelser og enheter

I henhold til Norsk Standard (1) skrives symboler i kursiv. I figurer og tabeller vil enheter være gitt som divisor (måltall = størrelse/enhet). Konstanter i empiriske likninger er gitt dimensjoner som gjør likningene dimensjonsmessig riktige, der dette ikke blir for komplisert. I kapitlene som inneholder mange symboler, er det laget symbolister.

### 2.1.5 Eksempler

For å demonstrere bruken av formler og diagram, er det som i FH1990 lagt inn eksempler.

### 2.1.6 Respons

I tillegg til beskrivelse av rene våpenvirkninger som lufttrykk, splinter og grunnsjokk inneholder FH1990 også framstillinger av responsen til ulike materialer og gjenstander overfor våpenvirkningene. Dette er ført videre i tilnærmet samme grad i den nye håndboka.

### 2.1.7 Kjernevåpen

Det meste av det som står om kjernevåpen i FH1990, stammer fra 1973-utgaven av Fortifikasjonshåndboka. Trusselen om bruk av kjernevåpen vurderes i dag som mye mindre enn tidligere, og det er gjort lite nytt arbeid på dette området. Beskrivelsen av virkningen av kjernevåpen er imidlertid beholdt for å opprettholde håndboka som en kilde på området. Det er derfor stort sett bare gjort utseendemessige endringer av dette stoffet i tillegg til at de fleste regneeksemplene er fjernet.

### 2.1.8 Kildehenvisninger

FH1990 inneholder få kildehenvisninger, og det kommer ikke fram hvilke deler som er hentet fra de oppgitte referansene. I den nye håndboka er det lagt vekt på at kildene skal oppgis for så mye som mulig av innholdet. Det inkluderer kildene til det som er tatt med videre fra FH1990. Kildereferansene er lagt inn som fotnoter som det blir referert til i teksten.

## 2.2 Våpendata og definisjoner

Det er foreløpig ikke gjennomført noen av revisjon av kapittel H1<sup>2</sup>, Våpendata og definisjoner. Et nytt slikt kapittel vil trolig ha liknende oppbygging som det eksisterende, men det må legges inn en rekke nye våpen og våpentyper.

I den eksisterende versjonen av håndboka er det lagt inn flere beskrivelser av våpen i de enkelte kapitlene. Dette gjelder hovedsakelig kapitlene som beskriver virkningen av spesielle våpen. Det må vurderes hva som skal stå om disse våpnene i første kapittel. Noen kapitler inneholder mer generelle våpenbeskrivelser som kan passe i et innledningskapittel, for eksempel beskrivelse av detonasjon av konvensjonelle våpen.

## 2.3 Anslags- og splintvirkning

Kapittel H2, Anslags- og splintvirkning, er skrevet av Ove Dullum og Henrik Sjøel ved FFI. Sjøel har tatt for seg virkningen mot betong, jord og fjell, mens Dullum har behandlet splinter, virkning mot panser og rikosjetter.

Kapittelet beskriver hva som skjer når prosjektiler treffer ulike mål. Et spesialtilfelle er splinter som ofte treffer i stort antall. Derfor beskrives den kollektive dannelsen, spredningen og virkninger av splinter fra et våpen.

Bortsett fra tittelen er det stor forskjell på den gamle og den nye versjonen av kapittel 2. Den nye versjonen er mye mer omfattende, og bare Gurneys formel for utgangshastighet til splinter og en formel for inntrengning i kombinert overdekning av jord og bakkematerialer er igjen av de gamle formlene. For øvrig bygger så godt som alt av stoffet om inntrengning i betong på arbeid som nylig er gjort ved FFI.

## 2.4 Trykkbølger i luft

Kapittel H3, Trykkbølger i luft, er i hovedsak skrevet av Jan Olav Langseth. Avsnittet om FAE-våpen er utarbeidet av Svein Christensen ved Forsvarsbygg. Svein Martinussen har skrevet om skade på mennesker, Henrik Sjøel om skader på betongkonstruksjoner, mens Jan Arild Teland og Knut B. Holm har bidratt under flere emner. I FH1990 var Trykkbølger i luft kapittel 4.

I den nye versjonen av kapittelet er egenskapene og oppførselen til trykkbølger gitt en mye grundigere beskrivelse (H3.1-H3.2). Det er lagt inn mange illustrasjoner og eksempler, og det er laget animasjoner som viser de fysiske prosessene. Animasjoner er også laget i forbindelse med groptrykk (H3.6.2) og trykkbølgeeffekter på frittliggende objekter (H3.6.4).

Avsnittet om trykkbølger fra konvensjonelle våpen inkluderer flere nye størrelser og er utvidet blant annet med beskrivelse av den negative trykkfasen og ulike ladningstyper. Innholdet i

---

<sup>2</sup> Når det refereres til kapitler, figurer, tabeller, formler og sidetall i håndboka, vises det i denne rapporten med en H foran nummeret.

avsnittet om FAE-våpen er skiftet ut med oppdatert kunnskap. Beskrivelsen av trykkbølger fra kjernevåpen er stort sett den samme som tidligere, men figurene har fått nytt utseende.

Når det gjelder spesielle trykkforhold er det lagt inn formler for varighet og impuls i avsnittet om detonasjon i rom (H3.6.3). Beregning av trykkbølgebelastninger (H3.6.5) er utvidet i forhold til FH1990. I trykkforhold i tunneler (H3.6.6) er det meste av innholdet beholdt selv om formatet er endret.

Beskrivelsen av skader fra trykkbølger er ny.

## **2.5 Grunnsjokk og kraterdannelse**

Utarbeidelsen av kapittel H4, Grunnsjokk og kraterdannelse, er gjort av Knut B. Holm med støtte fra Helge Langberg ved Forsvarsbygg og Henrik Sjøl (skade ved treff nær nedgravde betongkonstruksjoner). Kapitlet bygger på to kapitler i FH1990, 3 Sprengvirkning og 5 Grunnsjokk. Sprengvirkning dreier seg om kraterdannelse i tillegg til virkning av sprengstoff som detonerer i kontakt med ulike materialer. På samme måte som grunnsjokk handler dette om trykkbølger i faste materialer, og det var derfor logisk å slå de to kapitlene sammen til ett.

I det nye kapitlet er beskrivelsen av dannelsen og utbredelsen av grunnsjokk betydelig utvidet (H4.1, H4.2.1-H4.2.2). Formlene for grunnsjokkstørrelser (H4.2.3) er nye. Det er også metoden for å anslå skade ved nærtreff (H4.3.1). I avsnittet om grunnsjokkvirkning inne i anlegg (H4.4) er beskrivelsen av sjokkspektrum skrevet om, og det er lagt inn nye verdier for sjokktoleranse på utstyr.

Alle formene for grunnsjokkstørrelser gjelder volumbølger. Det er ikke tatt med noen formler for stighetid og varigheter og heller ikke for bølgelengde i løsmasser. I appendiks A blir dette nærmere begrunnet.

Formlene for kraterdannelse (H4.5) i jord, betong og fjell er de samme som i FH1990. Det er imidlertid også tatt med effekt av ladningstype ved kraterdannelse i jord samt en formel for kraterstørrelse i fjell når ladningen har trengt inn i fjellet. Avsnitt om kratre i rullebaner og utkast av masse ved kraterdannelse er lagt til.

Formlene for utstøtning og gjennomslag i fjell ved overflatedetonasjoner (H4.6.1/H4.7) er skrevet om for å gjøre dem enklere å bruke. Det er lagt til et avsnitt om utstøtning ved detonasjon av penetrerende våpen i fjell.

I forhold til det som står om virkning av kjernevåpen i kapittel 3 og 5 i FH1990, er det bare gjort endringer i layout og disposisjon.

## **2.6 Undervannsprengning**

Ved FFI og Forsvarsbygg var det begrenset kunnskap om virkningen av undervanns-

detonasjoner da revisjonen av FH1990 skulle gjennomføres. Derfor ble Totalforsvarets forskningsinstitut (FOI) kontaktet for assistanse. Forskningssjef Henrik Almström gikk gjennom kapittelet om undervannssprenging i FH1990 og pekte på flere feil. Han foreslo også forbedringer, blant annet ny tekst og bedre figurer.

Det ble likevel vurdert som nødvendig å gjøre flere endringer i tilnærmingen til og utformingen av stoffet. Siden det var knapt med ressurser og kompetanse, ble det bestemt å utsette oppdateringen av dette kapittelet.

## **2.7 Radioaktiv stråling**

Steinar Høibråten har skrevet kapittel H6, Radioaktiv stråling.

Enkelte avsnitt er tatt med videre fra FH1990 i forbedret og oppfrisket utgave. Det gjelder særlig punktet om radioaktiv stråling etter en kjerneeksplosjon (H6.5). Ellers er disposisjonen annerledes, og mange av punktene i FH1990 er ført videre i nyskrevet utgave til den nye håndboka. Da er opplysningene oppdatert og emnene utvidet. Av nytt stoff kan det nevnes en innføring i grunnleggende prinsipper for radioaktiv stråling, orientering om størrelser og måleenheter, beskrivelse av kjernereaksjoner og kjernevåpen og dessuten et avsnitt om radiologiske våpen.

## **2.8 Elektromagnetiske våpen**

Kapittel H7, Elektromagnetiske våpen, er skrevet av Karl Ludvig Grønhaug. I FH1990 het det tilsvarende kapittelet Elektromagnetisk puls – EMP. Det dreide seg hovedsakelig om EMP fra kjernesprengninger.

Dette stoffet er i stor grad beholdt med fargelagte figurer og endret disposisjon. Det er tatt med en del av de gamle beskrivelsene av skadevirkninger og beskyttelse, men her er det også lagt til nytt stoff. Beskyttelsen vil for øvrig virke mot alle typer EMP.

Avsnittet om ikke-nukleære elektromagnetiske våpen er nyskrevet. Det omfatter High Power Microwave (HPM), konvensjonelt generert EMP (MEMP, UWB), elektronisk krigføring og elektromagnetisk interferens.

## **2.9 Varme og brann**

På samme måte som for kapittelet om undervannssprengning, ble FOI bedt om å se på hva som burde gjøres med kapittelet om varme og brann i FH1990. Branningeniør Per Walmerdahl hadde et par bemerkninger til innholdet, men mente kapittelet gir et godt grunnlag for å beskrive krigsrelaterte branner. For øvrig pågår mye forskning rundt initiering og spredning av brann, blant annet i Sverige. Et brukbart alternativ ifølge Walmerdahl var å bare gjøre eventuelle kompletteringer av det eksisterende kapittelet.

Det har så langt ikke vært tilgjengelig ressurser til noen slags oppdatering av kapittelet om varme og brann. Det er derfor ikke med i første utgave av Håndbok i våpenvirkninger.

## **2.10 Biologiske og kjemiske stridsmidler**

Kapittel H9, Biologiske og kjemiske stridsmidler, er skrevet av Jan H. Blanch.

Innholdet i kapittelet er så endret og utvidet i forhold til det tilsvarende kapittelet i FH1990 at det har liten hensikt å sammenlikne de to versjonene. Det nye kapittelet innledes med en historisk oversikt fram til dagens avtaler om forbud mot B- og C-våpen. Det fortsetter med beskrivelser av biologiske og kjemiske stridsmidler, mulige angrepsformer og mottiltak.

## **2.11 Sårbarhetsanalyse**

Kapittel H10, Sårbarhetsanalyse, er skrevet av Svein Martinussen. Det er en videreføring av kapittel 11 i FH1990, Fortifikatorisk analyse.

Sårbarhetsanalyse er imidlertid et videre begrep enn fortifikatorisk analyse, og det nye kapittelet har en helt annen oppbygging enn det gamle. Bare et fåtall punkter er med i begge utgavene.

Sårbarhetsanalysen settes opp som en del av en analyse for å bestemme den beste utformingen av et element eller en enhet. Sårbarhetsanalysen består av hendelsesanalyse og konsekvensanalyse, og kapittelet beskriver disse. Kapittelet inneholder også en omfattende beskrivelse av beskyttelsestiltak for å redusere sårbarheten. Til slutt presenteres metoder for beslutningsanalyse.

# **3 REGNEPROGRAMMER**

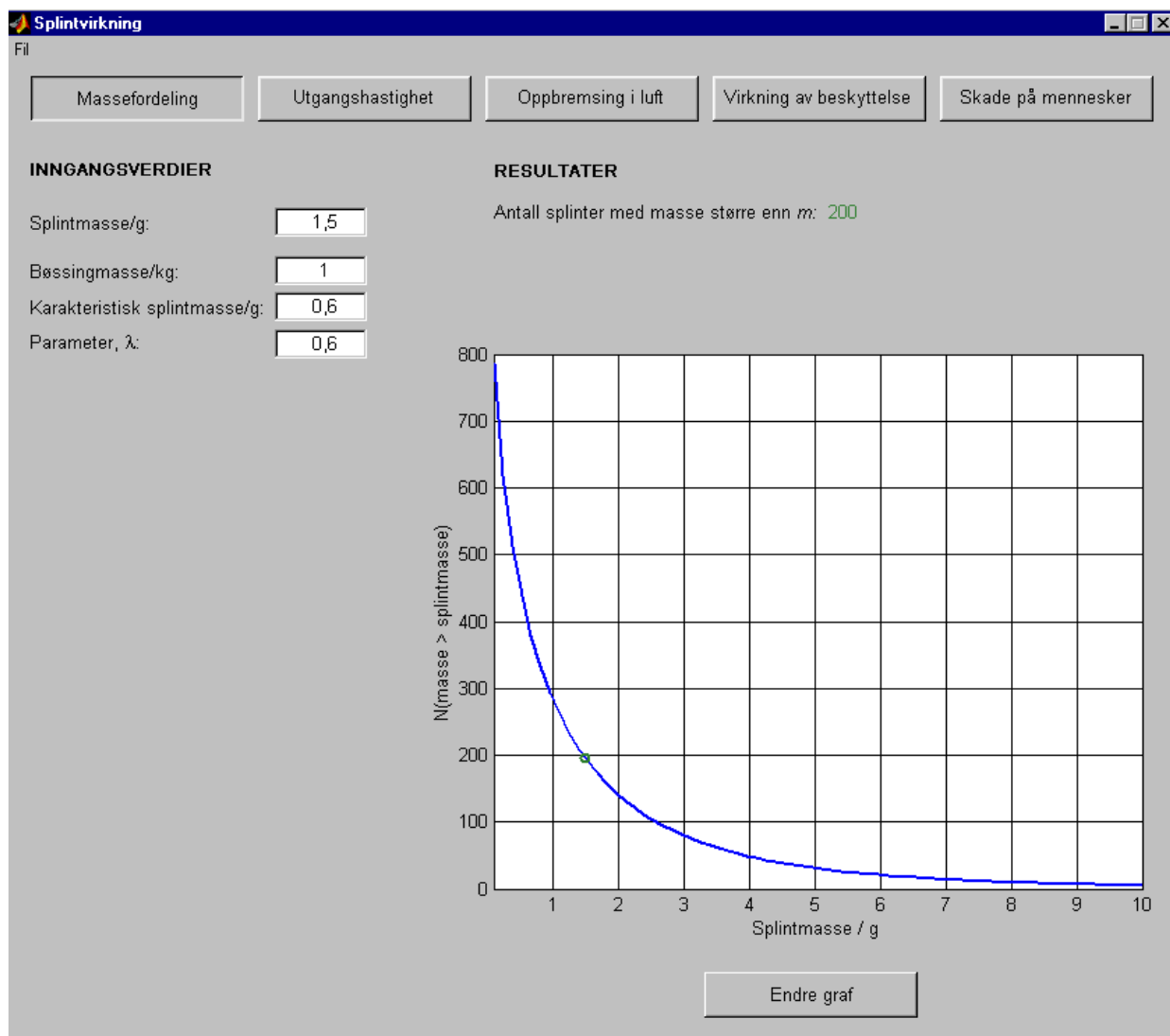
I tilknytning til håndboka er det utviklet 14 regneprogrammer. Programmene er basert på formler og kurver i håndboka og dekker store deler av innholdet i kapitlene om anslags- og splintvirkning, trykkbølger i luft samt grunnsjokk og kraterdannelse.

## **3.1 Generelt**

### **3.1.1 Oppbygging**

Programmene består av rutiner som utfører beregninger, og grafisk brukergrensesnitt der inngangsverdiene legges inn, og beregningsresultatene blir vist.

Utviklingen av brukergrensesnitt er gjort med dataverktøyet MATLAB 6.1. For alle programmene er brukergrensesnittet bygd opp på samme måte med noen variasjoner. Figur 3.1 viser et eksempel.



Figur 3.1 Brukergrensesnitt for regneprogram (splintvirkning)

Brukergrensesnittet består av grafiske objekter som grafer, styrere for brukergrensesnittet og menyer.

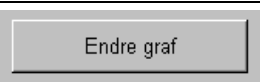
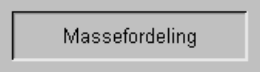
### 3.1.2 Virkemåte

Ut fra et sett med inngangsverdier som kan velges eller skrives inn, beregner programmet et sett med resultater. Videre vises sammenhengende verdier for en inngangsstørrelse og en resultatstørrelse grafisk. I tillegg tegnes punktet gitt av den innskrevne verdien for inngangsstørrelsen og den tilhørende resultatverdien opp. Beregningene blir utført og resultatene oppdatert etter at et objekt i programvinduet er aktivert, for eksempel ved å skrive inn tekst, velge et listeelement eller trykke på en knapp.

Styrere for brukergrensesnittet finnes av en rekke slag, se tabell 3.1.



Tabell 3.1 Styrere for brukergrensesnitt

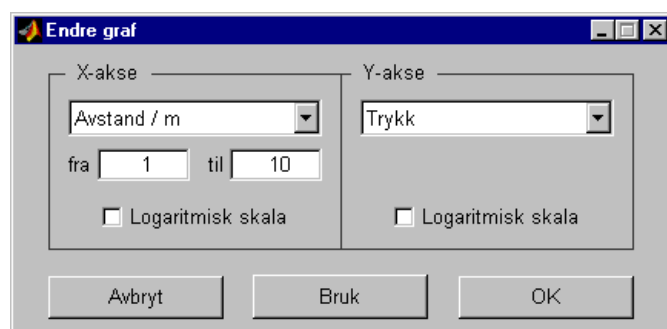
Trykknapp	
Avmerkingsboks	<input type="checkbox"/> Logaritmisk skala
Redigerbar tekst	<input type="text" value="1,5"/>
Liste	<input type="text" value="Betong"/>
Vippebryter	
Valgknapp	<input checked="" type="radio"/> Stridshode
Statisk tekst	<b>INNGANGSVERDIER</b>

Virkemåten til elementene er som følger:

#### Trykknapp

Trykknapper brukes for å utføre handlinger som å åpne eller lukke et programvindu eller utføre beregninger.

I alle regneprogrammene finnes knappen ”Endre graf”. Ved å trykke på den eller på selve grafen, blir det åpnet et nytt vindu der det kan velges hvilke størrelser som skal vises på aksene, hvilket intervall som skal vises på x-aksen og eventuell logaritmisk skala, se figur 3.2. Når ”Avbryt” velges, blir utseendet på grafen slik det var før ”Endre graf” ble valgt.



Figur 3.2 Vindu for å endre graf

#### Avmerkingsboks

Avmerkingsbokser brukes i ”Endre graf”-vinduet, se figur 3.2, for å angi om grafen skal tegnes opp i logaritmisk skala.

### Redigerbar tekst

Inngangsverdiene for beregningene skrives inn i redigerbare tekstbokser. Disse har vanligvis hvit bakgrunn og svart tekst. I noen programmer vil redigerbare tekstbokser vise mellomresultater i beregningene. Skriften vil da være grønn. Det er imidlertid også mulig å skrive inn verdier i disse boksene. Da blir skriften svart, mens inngangsverdier som i disse tilfellene ikke brukes i beregningene, vil være grå.

### Liste

Størrelsene i en liste er vanligvis forbundet med et sett av egenskaper eller parametere. Når en størrelse velges, endres parametrene i samsvar med denne. Slik gir lista hjelp til å finne fornuftige parameterverdier. Det er imidlertid også mulig å skrive inn verdier direkte. Da er ikke størrelsen som vises i lista gyldig lenger, og listeskriften får en grå farge.

### Vippebryter

I programmet for splintvirkning brukes vippebrytere for å velge hvilke beregninger som skal utføres, se kapittel 3.2.

### Valgknapp

Valgknapper brukes til å velge ett av flere alternativer.

### Statisk tekst

Tekst som ikke kan redigeres av brukeren.

### Meny

I programvindue er det lagt inn en nedtrekksmeny med overskriften "Fil" og alternativene "Skriv ut", "Kopier" og "Avslutt", se nedenfor.



Figur 3.3 Menyvalg

Når "Kopier" velges, legges et bilde av programvinduet med hvit bakgrunn og formatet 'Enhanced metafile' på utklippstavlen (se figur 3.4). Dette kan brukes i de fleste Windows-programmer. Det samme bildet vil skrives ut dersom "Skriv ut" velges.

## INNGANGSVERDIER

Splintmasse/g:

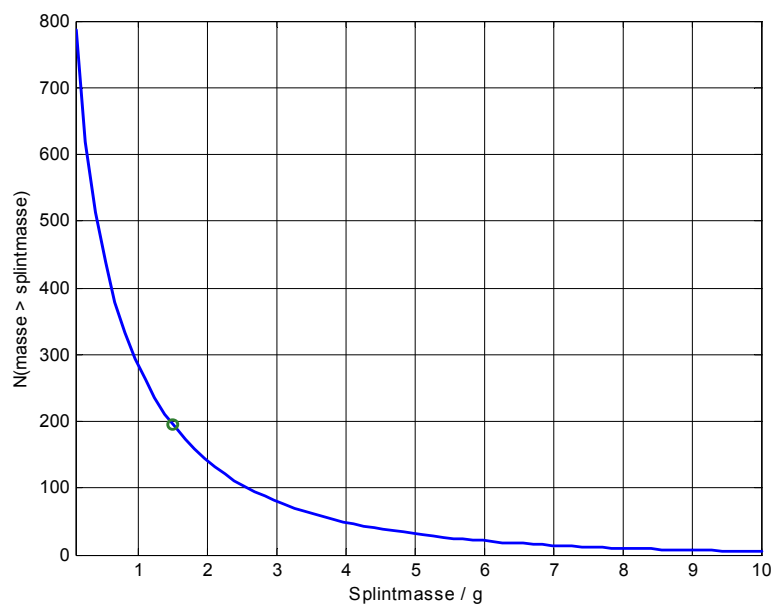
Bøssingmasse/kg:

Karakteristisk splintmasse/g:

Parameter,  $\lambda$ :

## RESULTATER

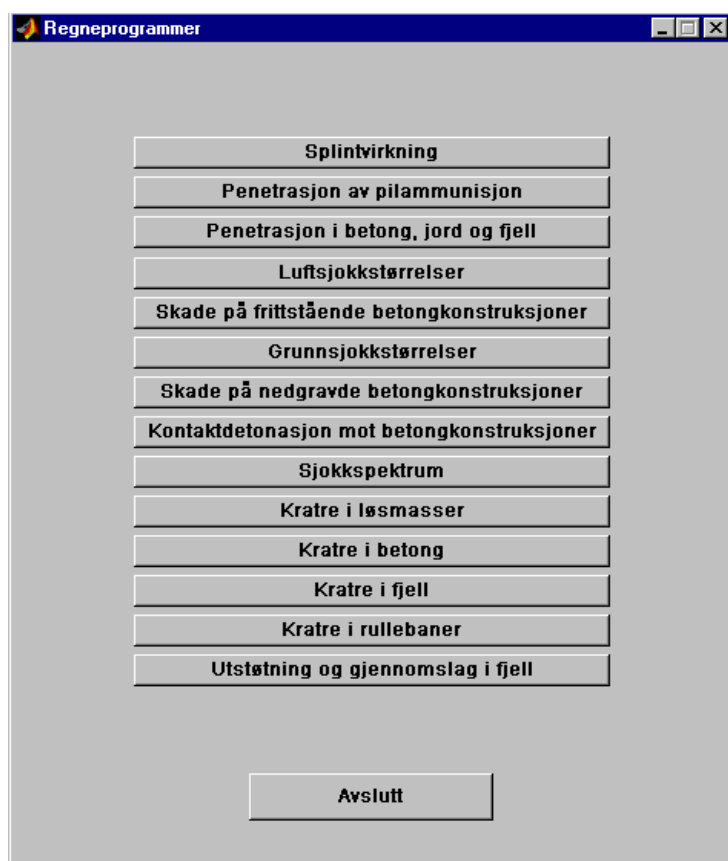
Antall splinter med masse større enn  $m$ : 200



Figur 3.4 Eksempel på bilde som kopieres eller skrives ut

### Programoversikt

Alle programmene åpnes fra et startvindu, se figur 3.5.



Figur 3.5 Inngangsvindu til regneprogrammer

### 3.1.3 Programkode

I utgangspunktet ligger programkoden for de 14 programmene i hver sin fil som inkluderer ulike funksjoner. Enkelte funksjoner som brukes i alle programmene, er lagt i egne filer. I tillegg finnes en fil med koden for det overordnede programmet (programmer.m). Koden består til sammen av vel 7000 programlinjer.

Når koden konverteres til et uavhengig program, må alle funksjonene som skal inkluderes, bli kalt i koden, eller de må listes opp slik det gjøres for to av dem:

```
%# function X_Callback
%# function Avslutt_Callback
```

De grafiske objektene er organisert hierarkisk. Alle objekter har en tallverdi som identifikator ('handle'). Denne brukes for å få tilgang til og endre objektene sine egenskaper. Noen av disse er beskrevet i appendiks B.

Øverst i hierarkiet er roten ('root'). På nivået under er vinduene som også kalles figurer. Figurene kan bestå av grafer ('axes'), styrere for brukergrensesnittet ('uicontrols') og menyer. Grafene består av diagram med linjer, punkter eller flater. I tillegg kan det plasseres tekst i tilknytning til en graf. Menyene har et sett av egenskaper på samme måte som de andre

objektene.

### 3.1.3.1 Oppstart

Filene med koden for de ulike programmene består i utgangspunktet av en funksjon med samme navn som filnavnet og med suffiks '.m'. Matlab referer til dette som `mfilename`. Funksjonen kan ha ulike inngangsvariable. Ved oppstart av programmet er det ingen slike, og da hentes det inn en utgangsversjon av programvinduet som ligger i en fil av type '`mfilename.fig`', der referansen til vinduet legges i variabelen `fig`: `"fig = openfig(mfilename, 'new');"`.

Når programvinduet åpnes, legges identifikatorverdiene til alle objektene i vinduet i en strukturvariabel med navn `handles` (`handles = guihandles(fig)`). Verdiene ligger i felt med navn lik objektets navn, for eksempel vil `handles.boks1` inneholde referansenummeret til en tekstboks med navn `boks1`. Variabelen `handles` overføres ved de fleste funksjonskall, og globale variable brukes ikke.

`handles` blir derfor også brukt til å overføre andre verdier. Til dette defineres nye felt som `xint` (x-intervall), `logx/logy` (1 for logaritmisk skala, 0 for lineær skala), `xstr/ystr` (nummeret viser til en liste med mulige størrelser på x-aksen eller y-aksen). Disse feltene er lagt under feltet `handles.sce`.

For å lagre `handles`, brukes kommandoen `guidata(fig, handles)`.

I boksene med redigerbar tekst settes `UserData` lik den innskrevne teksten (`String`) ved oppstart.

### 3.1.3.2 Tilbakekallsfunksjoner

Når brukeren aktiverer et UI-objekt, kalles objektets tilbakekallsfunksjon som er definert i objektets `Callback:mfilename('Obj_Callback',gcbo,[],guidata(gcbo))`. Funksjonen har navnet `Obj_Callback`, der `Obj` er objektets navn, og er definert i `mfilename.m`. `gcbo` gir referansenummeret til det aktuelle objektet, mens `guidata(gcbo)` gir variabelen `handles`.

De fleste tilbakekallsfunksjonene inneholder kall til funksjonen `oppdater` som igjen kaller funksjonene `beregn`, `verdier` og `tegn`.

Når det skrives noe inn i en tekstboks, blir det først kontrollert om det er gyldig tall. Det gjøres vanligvis med funksjonen `sjekkst` eller `sjekkstel`. Hvis tallet ikke er gyldig, kommer en feilmelding, og tallet settes tilbake slik det var tidligere (hentes fra `UserData`). Tekstboksene i 'Endre graf'-vinduet har en felles tilbakekallsfunksjon, `X_Callback`, der grenseverdiene for x-aksen sjekkes.

Når figuren skal kopieres eller skrives ut, brukes funksjonen `Ut_Callback`. For å unngå uønskede streker rundt tekstboksene som hører til MATLABs grafiske brukergrensesnitt, blir

disse erstattet med ordinære tekstbokser. Plasseringen av dem må justeres noe i forhold til de opprinnelige tekstboksene. I tillegg settes bakgrunnsfargen på radioknappene til hvit. Etter kopiering eller utskrift endres figuren tilbake til slik den var.

Fra menyen er det også mulig å avslutte programmet. Da kalles `Avslutt_Callback` som er felles for alle programmene og lagret i egen fil.

Når det trykkes på knappen `Endre graf` eller selve grafen, kalles tilbakekallsfunksjonen `graf_Callback`, i enkelte programmer kalt `pushbutton2_Callback`. Hvis det ikke finnes fra før, åpnes da et nytt vindu som kan brukes til å endre utseendet på grafen. Egenskapene til objektene i vinduet hentes fra `handles.sce`. Teksten i tekstboksene og `Value` til listene og avkrysningsboksene lagres i objektens `UserData`. Siden `UserData` for boksene som definerer x-intervallet, vil endres når det skrives inn nye gyldige verdier, legges det opprinnelige intervallet på x-aksen i tillegg i `UserData` til knappen 'Avbryt'. For knappen 'Bruk' brukes `UserData` som et flagg som viser om det er gjort endringer i grafen, det vil si om knappen er trykket på. Tilsvarende som for hovedvinduet defineres en variabel som inneholder referanse til objektene, `handlesE`.

Tilbakekallsfunksjonen til 'Bruk' sjekker om det innskrevne intervallet for x-aksen har gyldige verdier. Dette kan være avhengig av hvilke aksestørrelser som er valgt og om det er logaritmisk skala. Det kan også være nødvendig å gjøre noen beregninger i forbindelse med dette. Dersom verdiene ligger utenfor lovlig område, settes i stedet grenseverdiene inn. Eventuell avrunding må også gjøres slik at verdiene kommer innenfor det lovlig intervallet. Til dette kan funksjonen `kutt` benyttes. Til slutt oppdateres verdiene under `handles.sce`.

Når 'Avbryt' trykkes, settes grafen tilbake til situasjonen før 'Endre graf' ble startet. Verdiene hentes fra `UserData` til objektene, bortsett fra intervallet for x-aksen.

### 3.1.3.3 Beregningsfunksjon

Beregningene utføres som regel med kall til funksjonen `Beregn`. Funksjonen kalles med en serie x-verdier i tillegg til variabelen `handles`. Andre parametere som brukes i beregningene, hentes fra programvinduet. For størrelsen på grafens x-akse blir det beregnet resultater for de gitte x-verdiene i tillegg til verdien som er skrevet i programvinduet. Normalt gjelder dette alle resultatstørrelsene, Derfor blir bare en del av beregningsresultatene presentert. Grafen viser verdier for én eller to av resultatstørrelsene svarende til de angitte x-verdier, mens de oppførte tallverdiene i programvinduet svarer til den ene verdien for x-variabelen som er skrevet opp som en inngangsverdi. Resultatverdiene legges henholdsvis i utvariablene `Res` og `Res0`.

Inngangsverdier som ikke gir gyldige resultater, gir enten verdien 0 eller NaN (not-a-number). I funksjonene som brukes til å oppdatere tallverdier eller grafen, testes det tilsvarende om tallet er lik 0 eller er NaN (`isnan`), før det skrives ut.

### 3.1.3.4 Oppdatering av tallverdier

Oppdateringen av tallverdiene som vises i vinduet, gjøres med funksjonen `verdier`. Til formatering av tallverdiene er det laget en funksjon `tipotens` der det er definert antall sifre som skal vises, og når det skal brukes eksponentialform. I `verdier` ligger videre benevningene som skal brukes.

Når skrift skal heves eller kursiveres, kan ikke 'StaticText'-boksene brukes; det må lages tekst som er definert ut fra et 'axis'-objekt. Resultatverdiene og enkelte beskrivelser av inngangsstørrelsene er derfor lagt i slike tekstobjekter. Det er definert et eget 'axis'-objekt for disse.

### 3.1.3.5 Oppdatering av grafen

Oppdatering av grafen gjøres med funksjonen `tegn`. For de fleste programmene består dette av å legge inn oppdaterte data for eksisterende linjer og punkter, aksetekster, akseverdier og eventuell logaritmisk skala. Tallene som vises på aksene, skal også ha riktig format; når komma brukes som desimaltegn, krever det ekstra manipuleringer.

### 3.1.4 Eksekverbare programmer

Ut fra MATLAB-koden er det laget eksekverbare programmer som kan kjøres uavhengig av programmet MATLAB. Først oversettes MATLAB-koden om til C-kode, så lenkes denne sammen med nødvendige bibliotek for beregninger og brukergrensesnitt før programmene kompiles. I MATLAB blir alt dette gjort med kommandoen

```
mcc -B sgl programmer
```

Her er `programmer.m` filen med MATLAB-kode, og den må inneholde referanse til alle m-filene som skal være med. Ut fra dette lages `programmer.exe`. Det er i tillegg nødvendig å ha tilgang til en rekke "run-time libraries" som er inkludert i MATLAB og kan distribueres fritt.

## 3.2 Splintvirkning

Figur 3.1 viser programvinduet for beregning av splintvirkning. Vinduet har fem utforminger, avhengig av om det skal beregnes massefordeling av splinter, utgangshastighet, oppbremsing i luft, virkning av beskyttelse eller skade på mennesker.

### 3.2.1 Beregninger

#### Massefordeling

Massefordelingen er gitt av Motts formel (H2.1). Det totale antallet splinter,  $N_0$ , beregnes ut fra bøsningmassen slik fotnoten på side H2-6 beskriver.

#### Utgangshastighet

Utgangshastigheten bestemmes med Gurneys formel (H2.3).

### Oppbremsing i luft

Når splinthastighet etter oppbremsingen i luft skal bestemmes, kan det skrives inn en utgangshastighet eller den kan beregnes med Gurneys formel. Hastigheten etter oppbremsing er uansett gitt av (H2.6) der luftmotstandskoeffisienten  $C_D$  settes til verdien gitt av gjennomsnittet av utgangshastigheten og treffhastigheten slik det er beskrevet i håndboka. Programmet inneholder Gurneys konstant for en del sprengstoff slik tabell H2.1 viser.

### Virkning av beskyttelse

Hvis beskyttelsen det skal bestemmes virkningen av, er splintvest, finnes grensehastighet for perforering og resthastighet etter perforering ved hjelp av (H2.9) og (H2.10). For andre materialer brukes Thor-formlene (H2.12)-(H2.14) med verdier for eksponentene hentet fra tabell H2.5. Splintmassen og treffhastigheten må være innenfor et gitt intervall for at formelene skal være gyldige. I tillegg må det tas hensyn til at Thor-formlene i noen tilfeller ikke er konsistente, da skal det komme feilmelding i programmet. Ellers er det mulig å beregne oppbremsing i luft også i dette vinduet.

### Skade på mennesker

Ved beregning av skade på mennesker gir programmet to alternativer: For det første kan sannsynligheten for skade fra én splint beregnes. Sannsynligheten for skade på et menneske som blir truffet et vilkårlig punkt på kroppen av en splint med en gitt hastighet,  $P_r(\text{skade})$ , beregnes med Sperazzas formel (H2.8). Hastigheten kan skrives inn (resthastighet), den kan beregnes ut fra hastigheten før splinten treffer eventuell beskyttelse, eller beregningene kan inkludere oppbremsing i luft. Sperazzas formel benytter et sett med koeffisienter (tabell H2.4) som er avhengig av stridssituasjonen for soldaten og tiden før soldaten er stridsudyktig. Sannsynligheten for skade,  $P(\text{skade})$ , er i tillegg avhengig av at splinten treffer slik at

$$P(\text{skade}) = P_r(\text{skade}) \cdot \frac{A}{4\pi r^2} \quad (3.1)$$

der  $A$  det eksponerte kroppsarealet og  $r$  er avstanden til sprengningspunktet. I virkeligheten kan treffsannsynligheten maksimalt bli 0,5, så denne grensen er lagt inn i programmet.

I programmet kan også sannsynligheten for skade fra et stridshode bestemmes. Da inkluderer ikke beregningene Thor-formlene på grunn av deres begrensede gyldighetsområde. Beskyttelse med splintvest kan imidlertid tas med.

Splintene deles opp i massegrupper der grensene settes lik

$$m_i = m_{\min} e^{(i-1)\ln(m_{\max}/m_{\min})/N_m} \quad (3.2)$$

slik at grensen mellom gruppe  $i$  og gruppe  $i+1$  er  $m_{i+1}$ .  $N_m$  er det valgte antall massegrupper. De øverste og nederste grensene,  $m_{\max}$  og  $m_{\min}$  settes til verdiene som gir antall splinter med masse større enn  $m_{\max}$  eller mindre enn  $m_{\min}$  lik 1/2. Det vil si at



$$m_{\min} = m_0 \left( -\ln \left( 1 - \frac{1}{2N_0} \right) \right)^{1/\lambda} \quad (3.3)$$

$$m_{\max} = m_0 (\ln 2N_0)^{1/\lambda} \quad (3.4)$$

der  $m_0$  er bøssingmassen og  $\lambda$  er en tilpasningsparameter.

Splinter med masse mindre enn

$$m_{\min}(\text{skade}) = \frac{b}{v^{3/2}} \quad (3.5)$$

vil ifølge (H2.8) ikke gi skade. Derfor settes  $m_{\min}$  til den største verdien av  $m_{\min}$  og  $m_{\min}(\text{skade})$ .

Antall splinter i hver gruppe,  $n_i$ , finnes når grensemassene settes inn i (H2.1). For hver gruppe defineres det en representativ masse som er den geometriske middelverdien til grensemassene:

$$mr_i = \sqrt{m_i \cdot m_{i+1}} \quad (3.6)$$

Ut fra en utgangshastighet som enten beregnes eller skrives inn, bestemmes treffhastigheten,  $v_i$ , for de representative splintene ut fra oppbremsingen i luft og eventuell beskyttelse. Sannsynligheten for skade blir dermed

$$\begin{aligned} P(\text{skade}) &= 1 - \prod_{i=1}^{N_m} \left( 1 - \frac{A}{4\pi r^2} P_r(m_i, v_i) \right)^{n_i} \\ &= 1 - \prod_{i=1}^{N_m} \left( 1 - \frac{A}{4\pi r^2} \left( 1 - e^{-a(mr_i v_i^{3/2} - b)^{n_s}} \right) \right)^{n_i} \end{aligned} \quad (3.7)$$

der  $a$ ,  $b$  og  $n_s$  er koeffisientene i Sperazzas formel.

### 3.2.2 Brukergrensesnitt/programkode

Til hver inngangstørrelse er det definert en egen tekstboks med tilhørende tekst. Hvilke av disse som vises, og plasseringen av dem er gitt av det valgte beregningsalternativet i programmet. Det er definert så mange resultatbokser som maksimalt er nødvendig, og innholdet i disse endres og gjøres synlige eller usynlige etter behov.

Hvilke bokser for inngangsverdiene som vises, og plasseringen av dem er definert i tilbakekallsfunksjonene til de fem knappene (`togglebutton 1-5`). For skade på mennesker er det laget to funksjoner, `splintsett` og `vapensett`, som definerer oppsettet. Disse kalles fra tilbakekallsfunksjonene til knappen 'Skade på mennesker', knappene 'Splint' og 'Stridshode' og

listen med beskyttelsesalternativer. Til å holde rede på hvilket alternativ som gjelder, brukes variabelen `handles.s` som kan ha verdiene 1 (massefordeling), 2 (utgangshastighet), 3 (oppbremsing i luft), 4 (virkning av beskyttelse/splintvest), 5 (virkning av beskyttelse/andre materialer), 6 (skade av en splint på mennesker uten beskyttelse), 7 (skade av en splint på mennesker beskyttet av splintvest), 8 (skade av en splint på mennesker beskyttet av andre materialer), 9 (skade av splinter fra et stridshode på mennesker uten beskyttelse) og 10 (skade av splinter fra et stridshode på mennesker beskyttet av splintvest).

Størrelsene og intervallene som vises i grafen, er definert for hvert av oppsettene.

`handles.sce` vil derfor inneholde 10 sett med verdier som definerer hva grafen skal vise.

Disse verdiene bevares til neste gang oppsettet brukes. Unntaket er ved valg av beskyttelse. Da overføres oppsettet for grafen til det nye valgte alternativet hvis det er mulig. Hvis ikke brukes det tidligere oppsettet for alternativet. Dette er implementert i `Besk_Callback`.

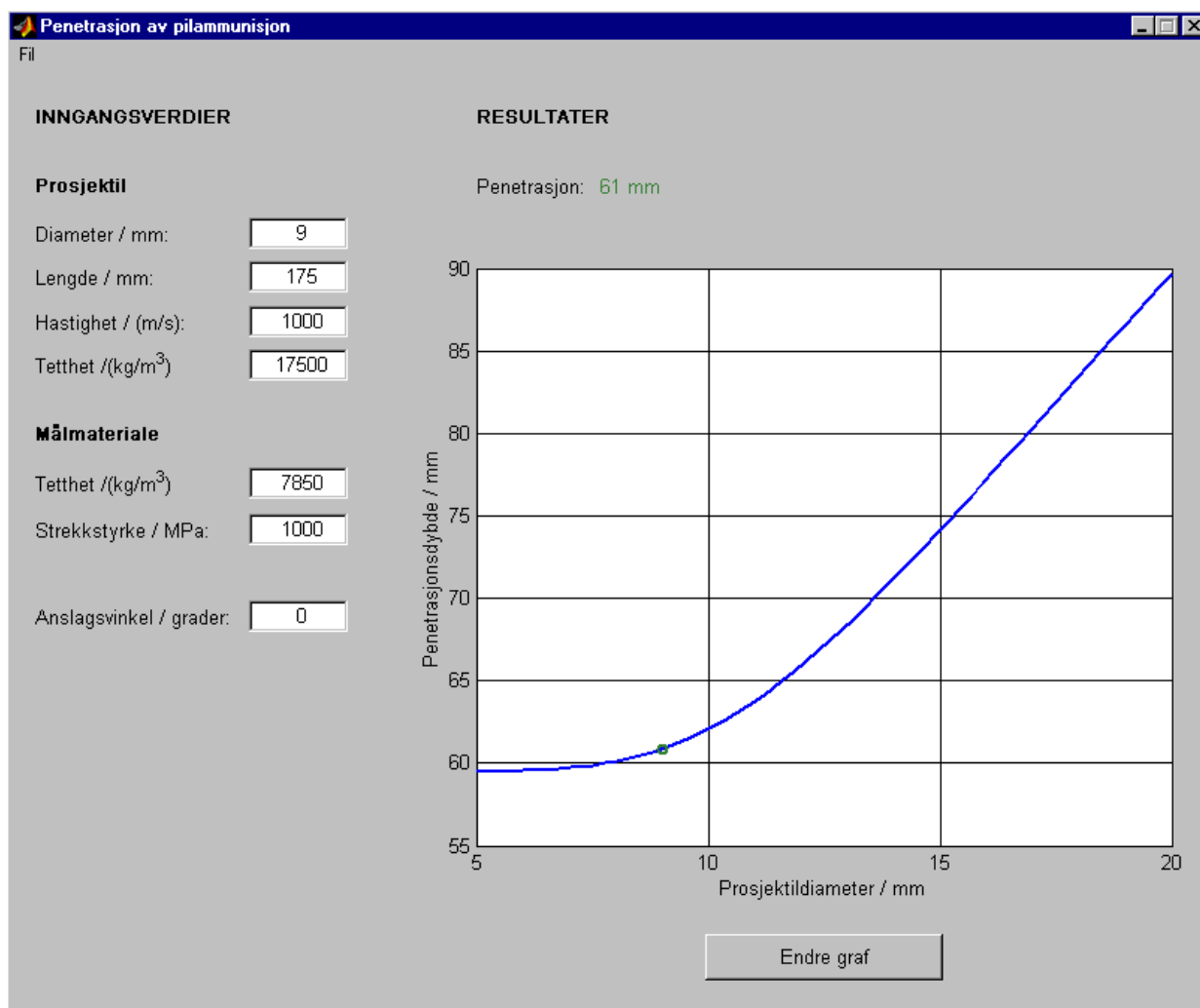
Det kan nevnes at når 'Endre graf' åpnes fra programmet om splintvirkninger, settes `WindowState` til `modal`, det vil si at det ikke kan gjøres noen endringer i hovedvinduet så lenge dette vinduet er åpent. Ellers finnes det i koden både en liste over alle mulige aksestørrelser og lister som bare defineres og gjelder for de enkelte alternativene og som vises i 'Endre graf'. Dermed vil indeksen som hører til en størrelse, variere etter hvilken liste det refereres til.

Når det velges størrelse og intervall på x-aksen blir det kontrollert om intervallet ligger innenfor gyldighetsområdet for størrelsen. Bruk av Thors formler setter begrensninger på masse og treffhastighet for splintene, og dette er avhengig av oppbremsingen i luft gitt av masse, utgangshastighet, formfaktor og avstand. Grenseverdiene må bestemmes numerisk, og til dette er det definert funksjoner for hver av de nevnte størrelsene.

Ved beregning av oppbremsing i luft, virkning av beskyttelse og skade på mennesker er det flere størrelser som både kan være resultat av beregninger eller kan skrives inn. Fargene i boksene endres i samsvar med dette som beskrevet ovenfor. I programmet er det lagt inn variable som indekser for hvilken situasjon som gjelder: `handles.v0farge` og `handles.vfarge`. Disse brukes for å sjekke på hvilket nivå beregningene skal starte. Dersom det er skrevet inn en verdi for en størrelse som i utgangspunktet er avhengig grafens x-størrelse, må det også passes på at det ikke tegnes opp noe punkt gitt av verdier som ikke brukes.

### 3.3 Penetrasjon av pilammunisjon

Figur 3.6 viser programvinduet for beregning av hvor dypt pilammunisjon trenger inn i et mål.



Figur 3.6 Brukergrensesnitt til program for beregning av penetrasjon av pilammunisjon

Penetrasjon av pilammunisjon beregnes med Lanz-Odermatts formel (H2.18).

### 3.4 Penetrasjon i betong, jord og fjell

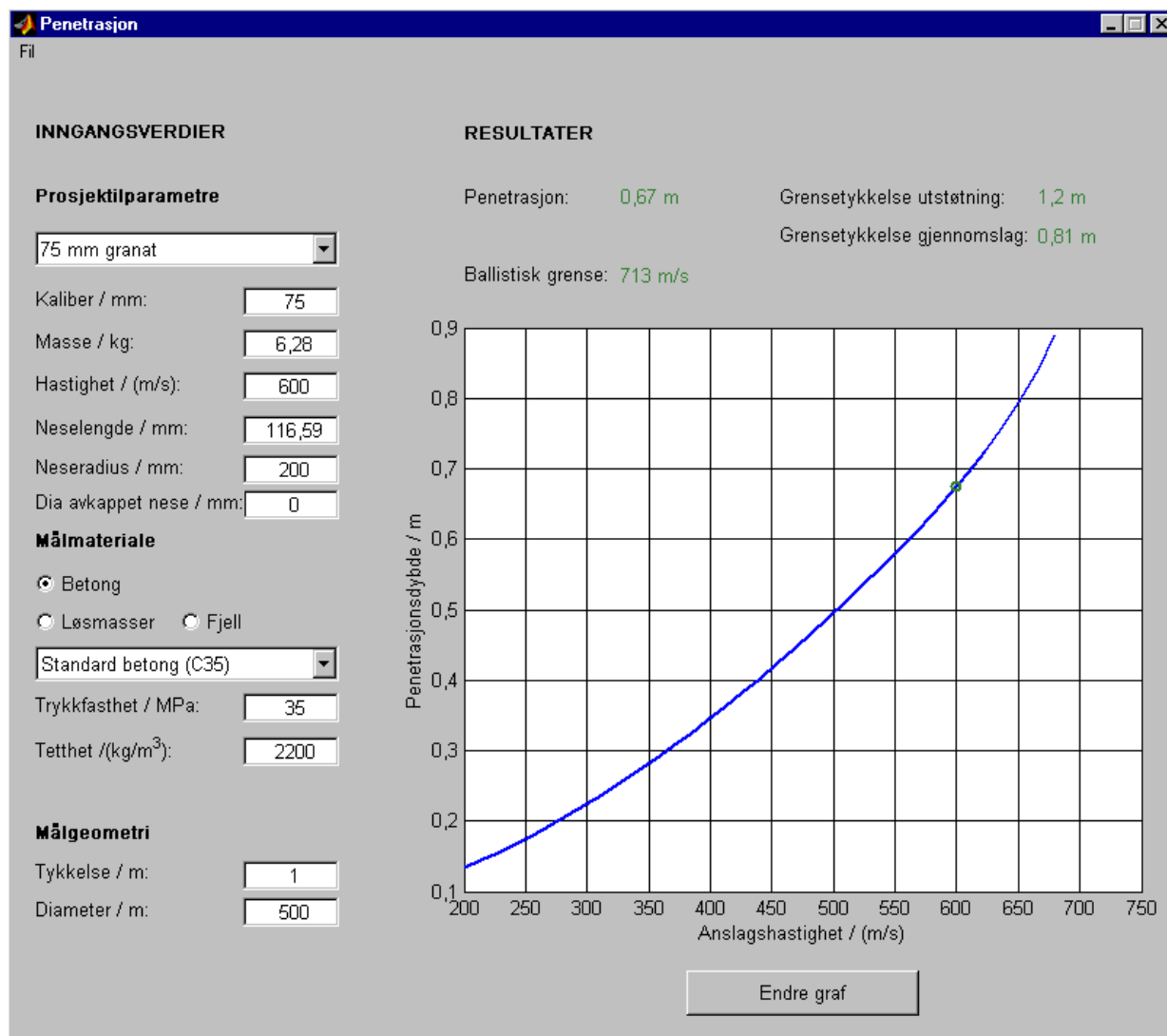
Figur 3.7 viser programvinduet for beregning av penetrasjon av ulike prosjektiler i målmaterialene betong, jord og fjell.

#### 3.4.1 Beregninger

##### Virkning i betong

Når det gjelder penetrasjon i betong, utfører programmet beregning av de fleste formlene i kapittel H2.4 i håndboka. Det vil si penetrasjon av udeformerte prosjektiler i halvendedige mål, i mål der randeffekter er inkludert, og i tynne mål. Videre beregnes ballistisk grense og eventuell resthastighet samt grensetykkelse for utstøtning og gjennomslag.

Penetrasjonsprosessen i et tynt mål kan bestå av tre faser (2). I den første fasen har bare en del av nesa på prosjektilet trengt inn i målet. I den siste fasen er hele nesa inne, og bølgene som



Figur 3.7 Brukergrensesnitt til program for beregning av penetrasjon av betong, jord og fjell

dannes når prosjektilet treffer målet, er reflektert på baksiden og kommet tilbake til prosjektilet igjen. Da blir motstandskraften redusert med faktoren  $\omega$  (H2.25). I den midterste fasen vil motstandskraften på prosjektilet være avhengig av om nesa er innenfor før eller etter at de reflekterte bølgene treffer prosjektilet.

Reduksjonsfaktoren  $\omega$  kan maksimalt ha verdien 1 slik at (H2.25) kan skrives som

$$\omega(X) = \begin{cases} 1 & X \leq X_{\text{krit}} \\ 0,2 \ln(1 + 4(H - X)^2) & X > X_{\text{krit}} \end{cases} \quad (3.8)$$

der

$$X_{\text{krit}} = H - \frac{1}{2} \sqrt{e^5 - 1} \quad (3.9)$$

$X$  er inntrengningen til prosjektilet i målet, skalert med kaliberet, og  $H$  er skalert måltykkelse.

Situasjonen der  $\omega = 1$ , vil være den samme som fasen der de reflekterte bølgene ikke har nådd tilbake til prosjektilet.

Den skalerte penetrasjonsdybden  $P$  kan generelt finnes ved hjelp av likningen (dette er i siste fase)

$$\int_{X_2}^P \omega(x) dx = \frac{2}{\pi} \frac{M}{N} \ln \left( 1 + \frac{N}{MS} (V_a^2 - C_\infty A) \right) + B \quad (3.10)$$

Her er  $X_2$  den skalerte penetrasjonsdybden ved overgangen til siste fase ( $X_2 = \max(X_n, X_1, X_{\text{krit}})$ ),  $X_n$  er skalert neselengde,  $X_1$  er penetrasjonsdybden der refleksjonsbølgen treffer prosjektilet (H2.29),  $M$  er skalert masse,  $N$  er en neseparameter,  $S$  er en faktor gitt av betongens trykkfasthet,  $V_a$  er anslagshastighet,  $C_\infty$  er forholdet mellom kraft og penetrasjon i den første penetrasjonsfasen.

$$C_\infty = \frac{\pi S}{4X_n} \frac{\frac{M}{N} + \frac{V_a^2}{S}}{\frac{M}{N} + \frac{\pi X_n}{4}} \quad (3.11)$$

$A$  og  $B$  vil være avhengig av hendelsesforløpet i den midterste fasen,

$$\begin{aligned} A &= X_g^2 + 2I_x(X_g, X_n) & B &= 0 & X_g &< X_n \\ A &= X_n^2 & B &= X_g - X_n & X_g &> X_n \end{aligned} \quad (3.12)$$

der  $I_x$  er integralet vist i (H2.30), og  $X_g = \max(X_1, X_{\text{krit}})$ . Ved å sette (3.11) og (3.12) for  $X_{\text{krit}} < X_1 < X_n$  inn i (3.10), blir resultatet som (H2.24) viser. Denne forenklete framstillingen dekker de alt overveiende tilfeller som er aktuelle å regne på.

Ved beregning av grensetykkelse for utstøtning brukes en aggregatstørrelse på 15 mm.

Det er lagt inn en liste med tre ulike prosjektiler i programmet. Ved å velge ett av dem, legges det inn verdier i boksene for prosjektilets kaliber, masse, anslagshastighet, neselengde, krumningsradius og diameteren til nesens flate del. Verdiene er vist i tabell 3.2.

Tabell 3.2 Prosjektiltyper med tilhørende egenskaper

Prosjektil	75 mm granat	155 mm granat	GBU-28
Kaliber/mm	75	155	368
Masse/kg	6,28	44,2	2000
Hastighet/(m/s)	600	400	350
Neseradius/mm	200	350	500

Prosjektilets neselengde,  $x_n$ , kan maksimalt ha verdien

$$x_n = d\sqrt{3(1-d_n/d) - 0,25(1-d_n/d)^2} \quad (3.13)$$

der  $d$  er kaliberet og  $d_n$  er diameteren til prosjektilets flate del. Neseradien,  $r_n$ , må være mellom  $\frac{1}{2}d$  og  $3d$ .

Forholdet mellom neseradien og neselengden  $x_n$  er gitt av uttrykket

$$\frac{r_n}{d} = \frac{\left(\frac{x_n}{d}\right)^2 + \frac{1}{4}\left(1 - \frac{d_n}{d}\right)^2}{1 - \frac{d_n}{d}} \quad (3.14)$$

Dersom det skrives inn en neselengde, beregnes den tilhørende neseradien og erstatter den eksisterende verdien. På samme måte beregnes neselengde når neseradius skrives inn.

Diameteren til den avkappede nesen har kaliberet som maksimalverdi.

Når målmaterialer er betong, vil valg av en betongtype gi verdier for trykkfasthet og tetthet til betongen i henhold til tabell 3.3. Tettheten øker normalt med trykkfastheten, men verdiene kan variere.

Tabell 3.3 Betongtyper med tilhørende egenskaper

Betongtype	C35	C50	C90	C140	C200
Trykkfasthet/MPa	35	50	90	140	200
Tetthet/(kg/m <sup>3</sup> )	2200	2300	2500	2700	3000

Modellene for penetrasjon i tynne mål og randeffekter kan ikke kombineres. Tynne mål betyr at måltykkelsen  $h < 2p_d$ , der  $p_d$  er penetrasjonsdybden i halvuendelige mål (H2.20). Randeffekter har betydning når måldiameteren  $d_t < d/50$ . Hvis det skrives inn en diameter som er mindre enn denne grensen samtidig som det er et tynt mål, økes måltykkelsen til 500 m. Tilsvarende settes

diameteren til 500 m når det skrives inn en lav verdi for tykkelsen. Ellers er den nedre grensen for diameteren  $0,008 d$ , og for tykkelsen  $10^{-3} d \sqrt{(1 - d_n/d) r_n/d - \frac{1}{4}(1 - d_n/d)^2}$ .

For kaliberet og massen har minimalverdiene bakgrunn i gyldighetsområdet for de empiriske formlene for penetrasjon i fjell og løsmasser.

### Virkning i fjell og løsmasser

Penetrasjon i fjell og løsmasser som jord og sand beregnes med formel (H2.42). Dataene for løsavleiringer i tabell H2.11 og for fjell i tabell H2.12 er tatt inn i programmet. Disse tallene er hentet fra (3).

### 3.4.2 Brukergrensesnitt/programkode

Når betong velges som materiale, er prosjektilegenskapene neselengde, nesoradius og diameter for avkappet nese samt tykkelsen og diameteren til målet blant inngangsverdiene. Disse størrelsene er skjult når løsmasser eller fjell er valgt. Videre endres innholdet i listen med materialtyper etter hvilket materiale som velges. Størrelsene som definerer materialelegenskapene, er også ulike for de forskjellige materialene. De tilhørende objektene blir synlige eller usynlige etter hvilket materiale som er valgt. Unntaket er den statiske teksten rett under materiallisten ("StaticText"). Den er alltid synlig, men teksten varierer. Når et nytt materiale velges, velges også den øverste materialtypen i den medfølgende listen.

For fjell finnes det en liste med fjellkvaliteter med tilhørende kvalitetsfaktor. Den valgte kvalitet eller innskrevne verdi vil bevares slik at når fjell velges på nytt vil disse igjen vises og brukes.

Spesielt for dette programmet er at når grafen skal endres, inneholder listene for aksestørrelsene også størrelser som ikke kan brukes i de aktuelle tilfellene. Hvis én av disse velges, kommer da en feilmelding som sier hvilke størrelser som kan brukes.

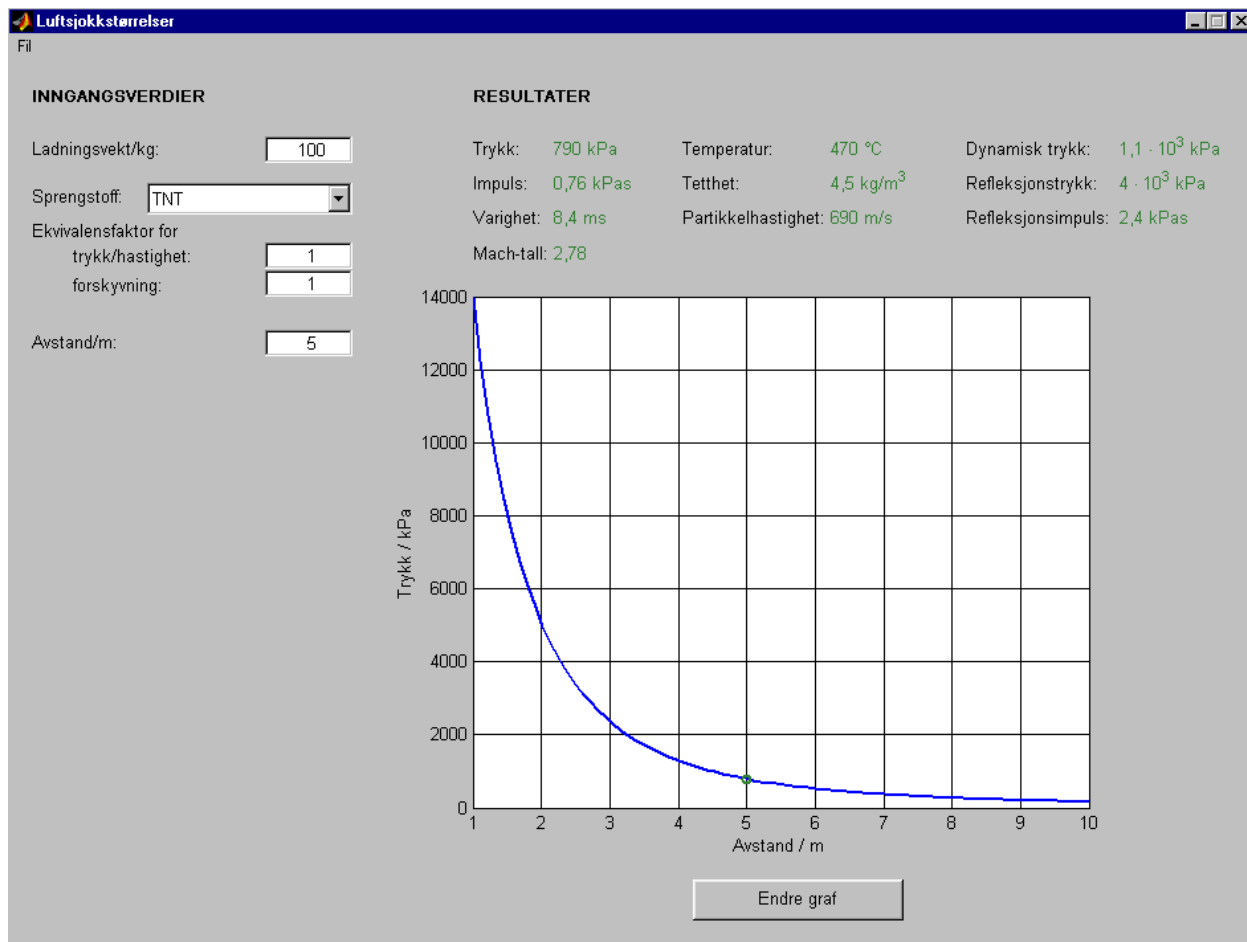
## 3.5 Luftsjokkstørrelser

Figur 3.9 viser programvinduet for beregning av luftsjokkstørrelser.

### 3.5.1 Beregninger

Beregning av luftsjokkstørrelser tar utgangspunkt i massen av en konvensjonell ladning og en sprengstofftype. Den effektive ladningsvekten beregnes med (H3.20) og ekvivalensfaktorene i tabell H3.1. Faktorene kan hentes fra programvinduet. Ut fra de empiriske verdiene vist i figurene H3.19 og H3.20 finnes da trykket (fronttrykket), impulsen, varigheten, refleksjons-trykket og refleksjonsimpulsen.

Håndboka inneholder både formler (H3.1)-(H3.4) og en figur (figur H3.2) for å beregne fronthastighet eller sjokkhastighet, partikkelhastighet, tetthet og temperatur. Formlene gjelder for moderate trykk der lufta er polytropisk slik at forholdet mellom varmekapasitetene ved konstant trykk og volum,  $\gamma$ , er konstant. For høyere trykk er ikke dette tilfelle, og for å anslå  $\gamma$



Figur 3.8 Brukergrensesnitt til program for beregning av luftsjokkstørrelser

kan da formelen nedenfor brukes (3):

$$\gamma = 1 + A + B + C \quad (3.15)$$

der

$$A = \frac{0,4 + 2,399 p_n + 116,4 p_n^2}{1 + 5,812 p_n + 293,2 p_n^2 + 84,07 p_n^3} \quad (3.16)$$

$$B = \frac{6,9 \cdot 10^{-5} p_n^{5,378}}{1 + 0,001089 p_n^{5,378}} \quad (3.17)$$

$$C = \frac{9,565 \cdot 10^{-6} p_n^{3,122}}{1 + 7,288 \cdot 10^{-5} p_n^{3,122}} \quad (3.18)$$

$p_n$  er trykket gitt i størrelsen 1000 psi. (3.15) gjelder for trykk opp til 275 MPa.

Når det tas hensyn til at  $\gamma$  ikke er konstant, gir bevaring av masse, moment og energi over en sjokkfront følgende uttrykk (3):



$$u = c \sqrt{\frac{\frac{p}{p_0} \frac{\gamma+1}{2\gamma_0} + \frac{\gamma}{\gamma_0}}{1 + \frac{p_0}{p} \frac{\gamma_0 - \gamma}{\gamma_0 - 1}}} \quad (3.19)$$

$$\rho = \rho_0 \frac{\left( \frac{p}{p_0} \frac{\gamma+1}{\gamma-1} + \frac{2\gamma}{\gamma-1} \right)}{\frac{p}{p_0} + \frac{2\gamma_0}{\gamma_0 - 1}} \quad (3.20)$$

$$v = c_0 \sqrt{\frac{\frac{2p}{p_0\gamma_0} \frac{p}{p_0} (\gamma+1) + 2\gamma}{\frac{p}{p_0} + \frac{\gamma_0 - \gamma}{\gamma_0 - 1}}} \quad (3.21)$$

Her er

$u$  = sjokkhastighet

$p$  = fronttrykk

$p_0$  = atmosfæretrykk

$\gamma_0$  = forhold mellom varmekapasiteter i uforstyrret luft

$\rho$  = tetthet i sjokkfronten

$\rho_0$  = tetthet i uforstyrret luft

$v$  = partikkelhastighet i sjokkfronten

$c_0$  = lydhastighet

Ut fra disse størrelsene beregnes Machtallet i programmet med (H3.6) og det dynamiske trykket med (H3.14). Temperaturen bestemmes ut fra verdiene vist i figur H3.2. De andre kurvene i figur H3.2 er for øvrig utarbeidet ved hjelp av formlene ovenfor.

Dersom trykket eller Machtallet brukes som variabel i grafen, er det ikke mulig å velge impuls eller refleksjonsimpuls som utverdi. Refleksjonstrykket bestemmes da ut fra figur H3.20, bortsett fra når trykkverdiene er nedenfor grafens dekningsområde. Da brukes i stedet formel (H3.9).

For å bestemme trykket ut fra Machtallet, brukes formlene (3.15)-(3.19) slik at løsningen må beregnes numerisk.

### 3.5.2 Brukergrensesnitt/programkode

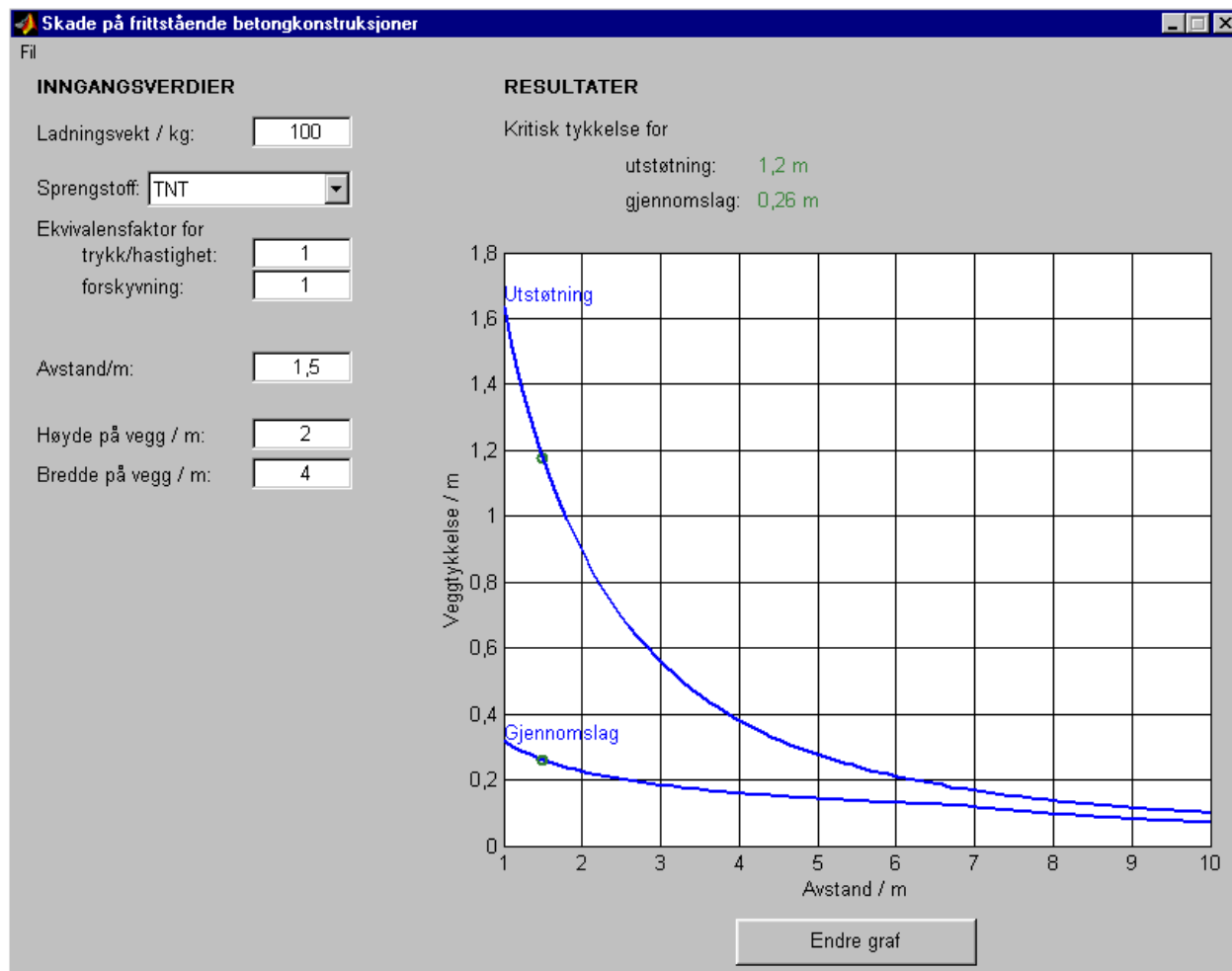
Intervallene for ladningsvekten og detonasjonsavstanden som gir resultater, er gitt av området dekket av forsøksdata. Når ladningsvekt eller avstand utenfor gyldighetsområdet skrives inn, gis det ingen melding, bortsett fra at det står "Ikke definert" i alle resultatene. Når det velges

intervall på grafen, kreves det imidlertid at det ligger innenfor gyldighetsområdet.

De tilgjengelige størrelsene på y-aksen er avhengig av den valgte størrelsen på x-aksen. Dette er implementert i `Xstrelse_Callback`.

### 3.6 Skade på frittstående betongkonstruksjoner

Figur 3.9 viser programvinduet for beregning av skade på frittstående betongkonstruksjoner.



Figur 3.9 Brukergrensesnitt til program for beregning av skade på frittstående betongkonstruksjoner

#### 3.6.1 Beregninger

I dette programmet beregnes kritisk veggtykkelse for utstøtning og gjennomslag i henhold til (H3.45). Formlene for grensetykkelsen for utstøtning og gjennomslag i det impulsive området (H3.43) er ikke helt konsistente slik at det må gjøres tilpasninger for å få fornuftige svar.

Problemet oppstår når kritisk tykkelse for utstøtning ved impulsiv belastning,  $h_u^i$ , blir mindre

enn kritisk tykkelse for gjennomslag,  $h_g^i$ .  $h_g^i$  settes da til

$$\begin{aligned} h_g^i &= h_u^i - (h_u^p(r_{\text{krit}}) - h_g^p(r_{\text{krit}})) \\ &= h_u^i - h_u^p(r_{\text{krit}}) \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right) \end{aligned} \quad (3.22)$$

der  $h_g^p$  og  $h_u^p$  er kritiske tykkelser for gjennomslag og utstøtning ved kvasistatisk belastning (H3.44), og  $r_{\text{krit}}$  er den skalerte avstanden der  $h_u^i = h_u^p$ , det vil si at

$$\frac{0,07}{r_{\text{krit}}^{1,46}} Q^{1/3} = a \sqrt{\frac{p(r_{\text{krit}})}{90 k_1}} \quad (3.23)$$

der  $Q$  er ladningsvekt,  $a$  er veggens minste sidelengde, og  $k_1$  er avhengig av forholdet mellom sidelengdene, jf. (H3.42).  $p(r_{\text{krit}})$  er gitt av forsøksdata. Løsningen må derfor ligge innenfor området som forsøksdataene dekker. Hvis dette ikke er tilfellet, settes  $r_{\text{krit}}$  til den største avstanden i forsøkene.

### 3.6.2 Brukergrensesnitt/programkode

I dette programmet legges forsøksdataene inn i `handles`-strukturen ved oppstart.

Sidelengdene til betongveggen som betraktes, er definert som høyde og bredde i programvinduet. Hva som er høyde eller bredde, har ingen betydning, men ved beregningene må det holdes styr på hvilken av lengdene som er størst.

Programmet gir to størrelser som resultat, kritisk tykkelse for utstøtning og gjennomslag. I grafen tegnes disse opp samtidig.

## 3.7 Grunnsjokkstørrelser

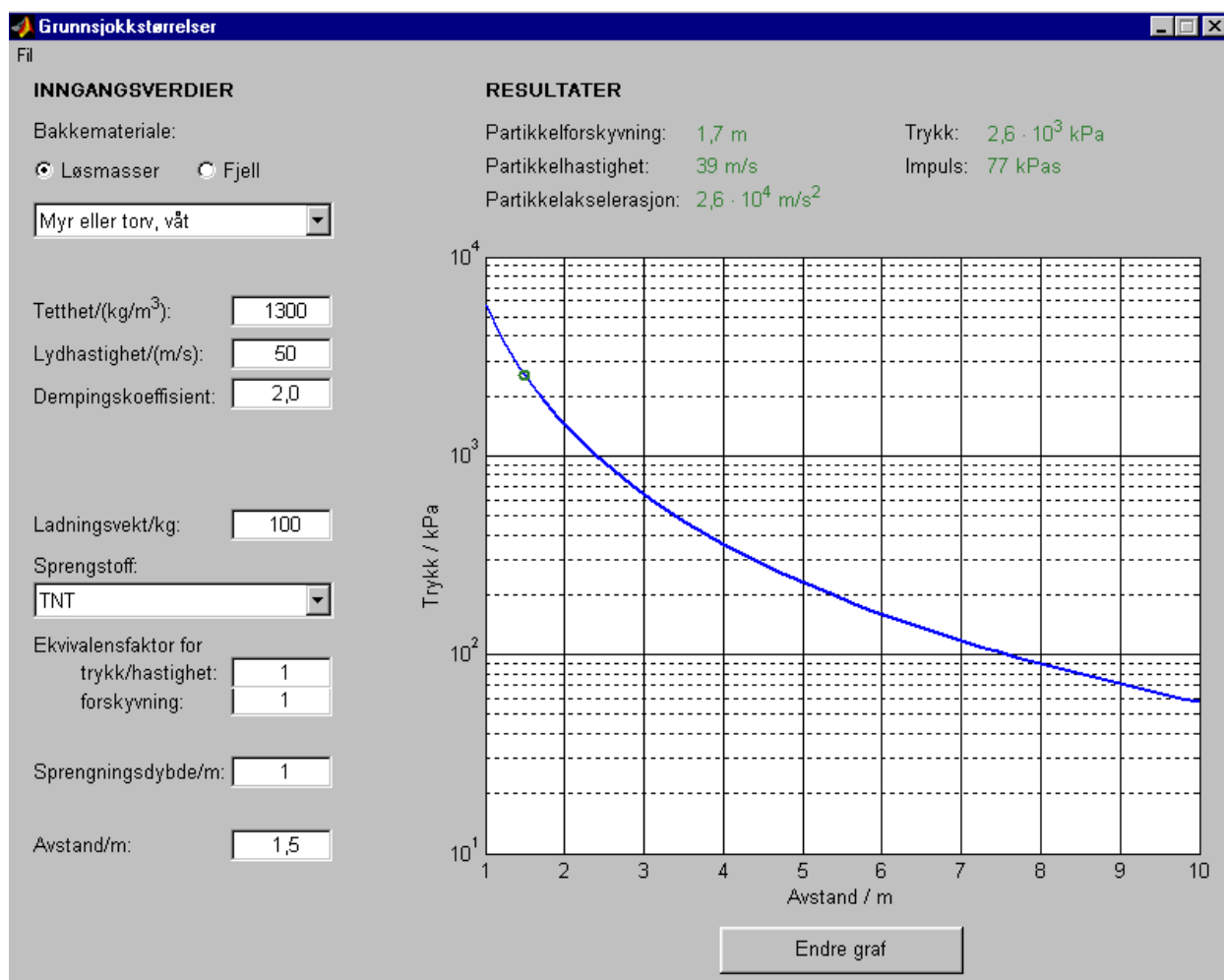
Figur 3.10 viser programvinduet for beregning av grunnsjokkstørrelser.

### 3.7.1 Beregninger

Grunnsjokkstørrelsene beregnes slik det står beskrevet i kapittel H4.2.3 i håndboka. Verdiene i tabellene H4.1-H4.3 er lagt inn i programmet. Det samme gjelder kurven for koplingsfaktor i fjell i figur H4.3. Til kurven for løsmasser er det tilpasset en formel som brukes i programmet:

$$f_k = 1 - e^{-5,16Z^2 - 2,26Z - 0,152} \quad (3.24)$$

der  $Z$  er skalert sprengningsdybde,  $z/Q^{1/3}$ .



Figur 3.10 Brukergrensesnitt til program for beregning av grunnsjokkstørrelser

### 3.8 Skade på nedgravde betongkonstruksjoner

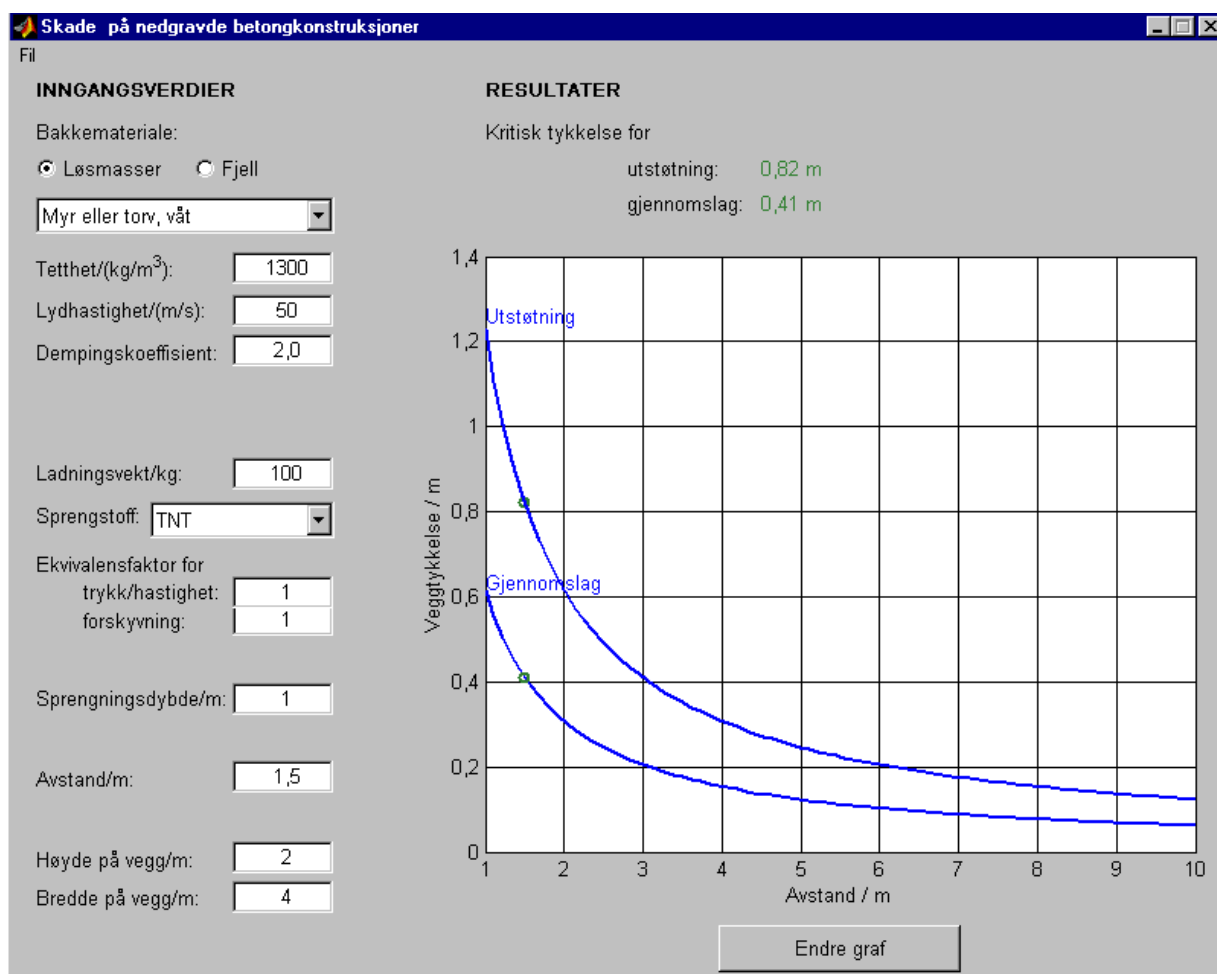
Figur 3.11 viser programvinduet for beregning av skade på nedgravde betongkonstruksjoner.

#### 3.8.1 Beregninger

Beregningene av skade på nedgravde konstruksjoner er beskrevet i kapittel H4.3.1 i håndboka. Programmet beregner kritisk veggtykkelse i henhold til formel (H4.13). Som formlene dette bygger på, gjelder beregningene når  $R/Q^{1/3} > 0,16 \text{ m/kg}^{1/3}$ .

#### 3.8.2 Brukergrensesnitt/programkode

På samme måte som i programmet for skade på frittstående betongkonstruksjoner viser grafen her kurver både for grensetykkelse for utstøtning og for gjennomslag.



Figur 3.11 Brukergrensesnitt til program for beregning av skade ved treff nær nedgravde betongkonstruksjoner

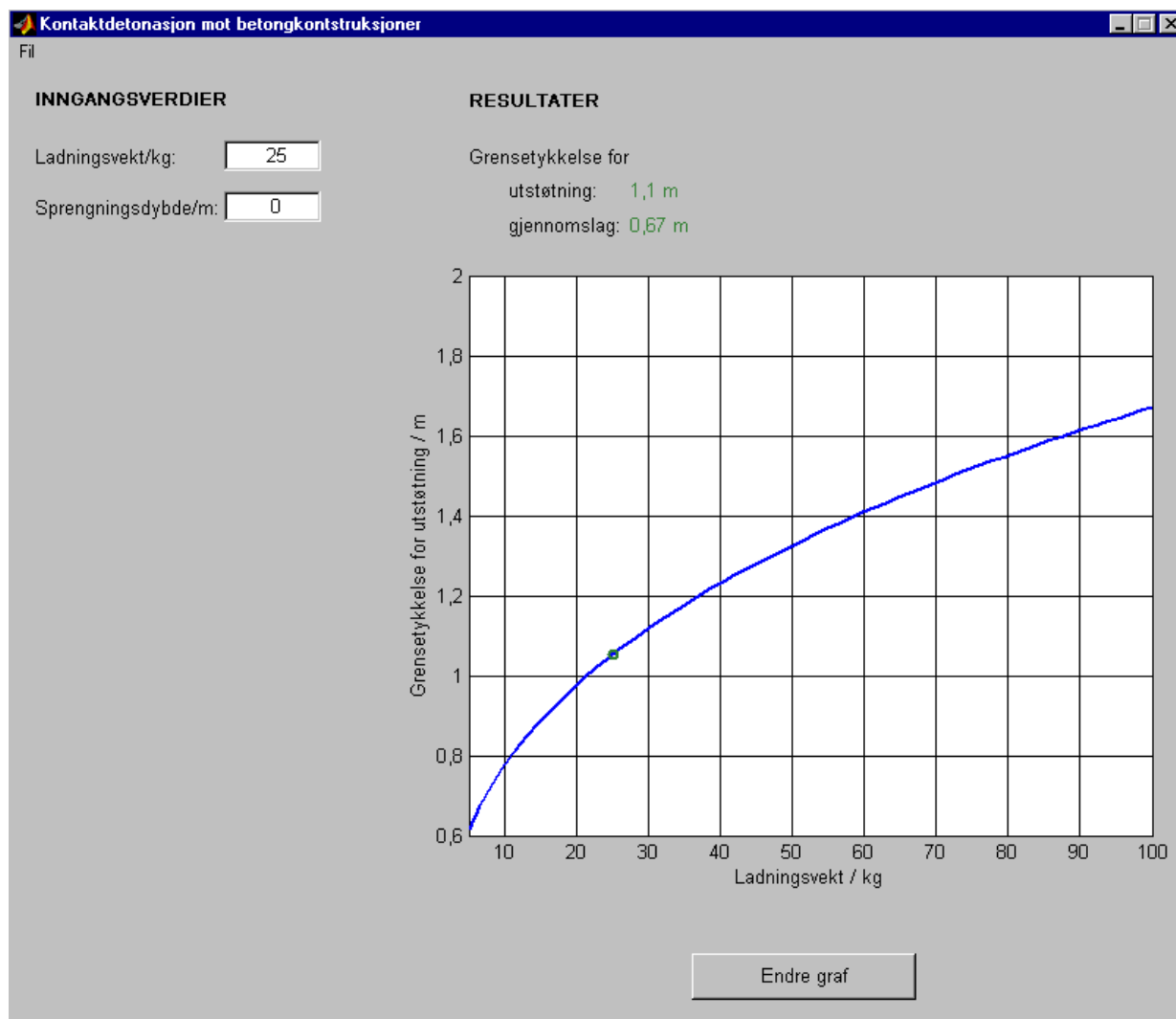
### 3.9 Kontaktdetonasjon mot betongkonstruksjoner

Figur 3.12 viser programvinduet for beregning av kontaktdetonasjon mot betongkonstruksjoner.

#### 3.9.1 Beregninger

Grunnlaget for beregning av skade fra en kontaktdetonasjon mot nedgravde betongkonstruksjoner er formel (H4.14) og (H4.15) samt figur H4.5. Til kurven i figuren er det tilpasset en formel:

$$k_f = 1 + 3 \left( 1 - e^{-0,8243Z^2 - 0,8725Z} \right) \quad (3.25)$$



Figur 3.12 Brukergrensesnitt til program for beregning av skade ved kontaktdetonasjon mot nedgravde betongkonstruksjoner

### 3.10 Sjokkspektrum

Figur 3.13 viser programvinduet for å konstruere sjokkspektrum.

#### 3.10.1 Beregninger

Kapittel H4.4.1-H4.4.2 i håndboka gir en grundig innføring i oppbyggingen av et sjokkspektrum med kurver for responsverdier og toleranseverdier. Kritisk frekvens er gitt av skjæringspunktet mellom de to kurvene, gitt at kurven for responsverdier ligger nedenfor kurven for toleranseverdier for alle lavere frekvenser.

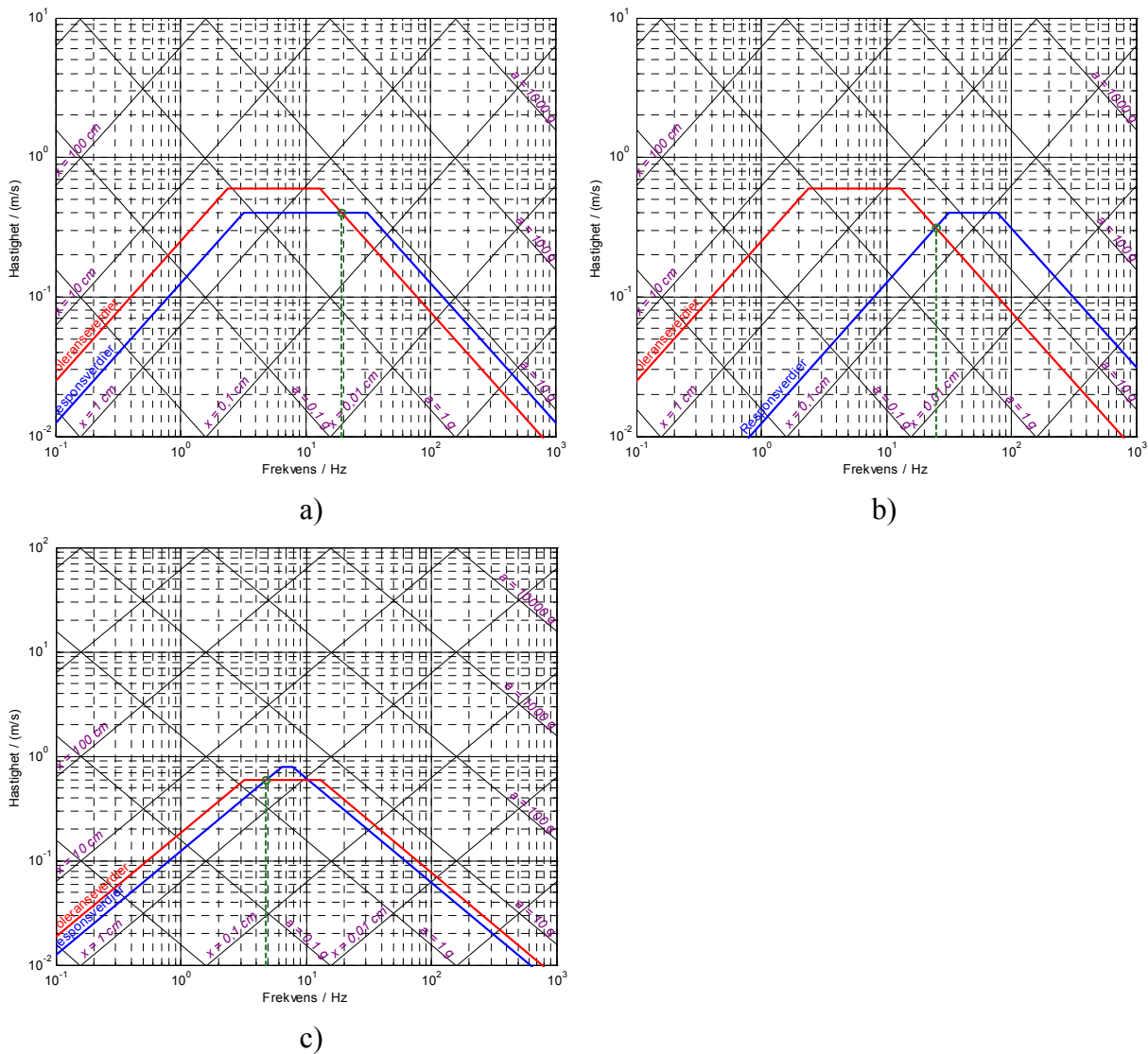
Dette beregnes med utgangspunkt i størrelsene

$x_r$  = responsforskyvning

$v_r$  = respons hastighet

$a_r$  = responsakselerasjon





Figur 3.14 Eksempler på sjokkspektrum

I de to tilfellene blir den kritiske frekvensen  $f_k = a_0/2\pi v_r$  og  $f_k = \sqrt{a_0/x_r}/2\pi$ . Den største av disse vil være gjeldende.

Hvis  $v_{rm} \geq v_{0m}$ , kan forskyvningsdelen av responskurven skjære hastighetsdelen av toleransekurven, se eksempel c) i figur 3.14. Da blir  $f_k = v_0/2\pi x_r$ .

Når  $v_{rm} \geq v_{0m}$  samtidig som  $a_r \geq a_0$  kan forskyvningsdelen av responskurven skjære akselerasjonsdelen av toleransekurven, jf. figur 3.14 b). Den kritiske frekvensen vil være den minste verdien av  $v_0/2\pi x_r$  og  $\sqrt{a_0/x_r}/2\pi$ .

### 3.10.2 Brukergrensesnitt/programkode

I programmet for sjokkspektrum er instruksjonene for å gjøre beregninger, oppdatere grafen og



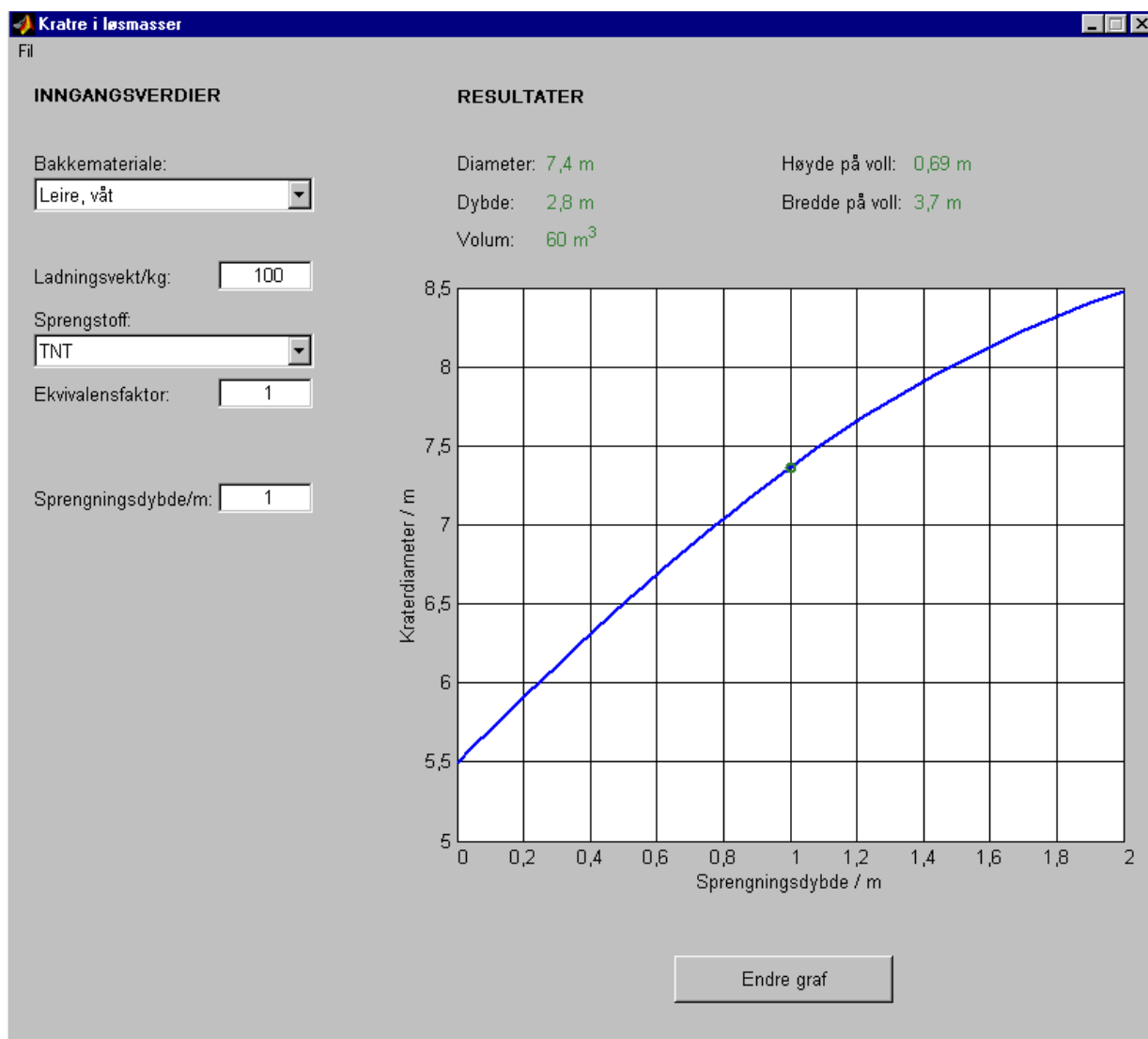
oppdatere teksten, alle lagt inn i funksjonen oppdater.

Kurvene med toleranseverdier og responsverdier vil være definert ved frekvensaksens minimalverdi,  $f_{\min}$ , og maksimalverdi,  $f_{\max}$ , og de tilhørende hastigheter, og i tillegg ett eller to punkter mellom, avhengig av om det finnes en horisontal del på kurvene. Mellompunktene har frekvenser  $f_{\text{midt}}$  og  $f_{0\text{midt}}$ . Det må også kontrolleres at disse ikke er mindre enn  $f_{\min}$  eller større enn  $f_{\max}$ . Hastighetene som hører til frekvensene, legges i  $v_{\text{res}}$  og  $v_{\text{tol}}$ .

Diagrammet inneholder hjelpelinjer for akselerasjon og forskyvning. Definisjonen av disse ( $f_a/v_a/f_x/v_x$ ) er avhengig av de valgte intervallene for frekvens og hastighet. Videre legges det inn beskrivelse av disse linjene med passende helningsvinkel.

### 3.11 Kratre i løsmasser

Figur 3.15 viser programvinduet for beregning av størrelser til kratre i jord.



Figur 3.15 Brukergrensesnitt til program for beregning av kraterstørrelser i løsmasser

### 3.11.1 Beregninger

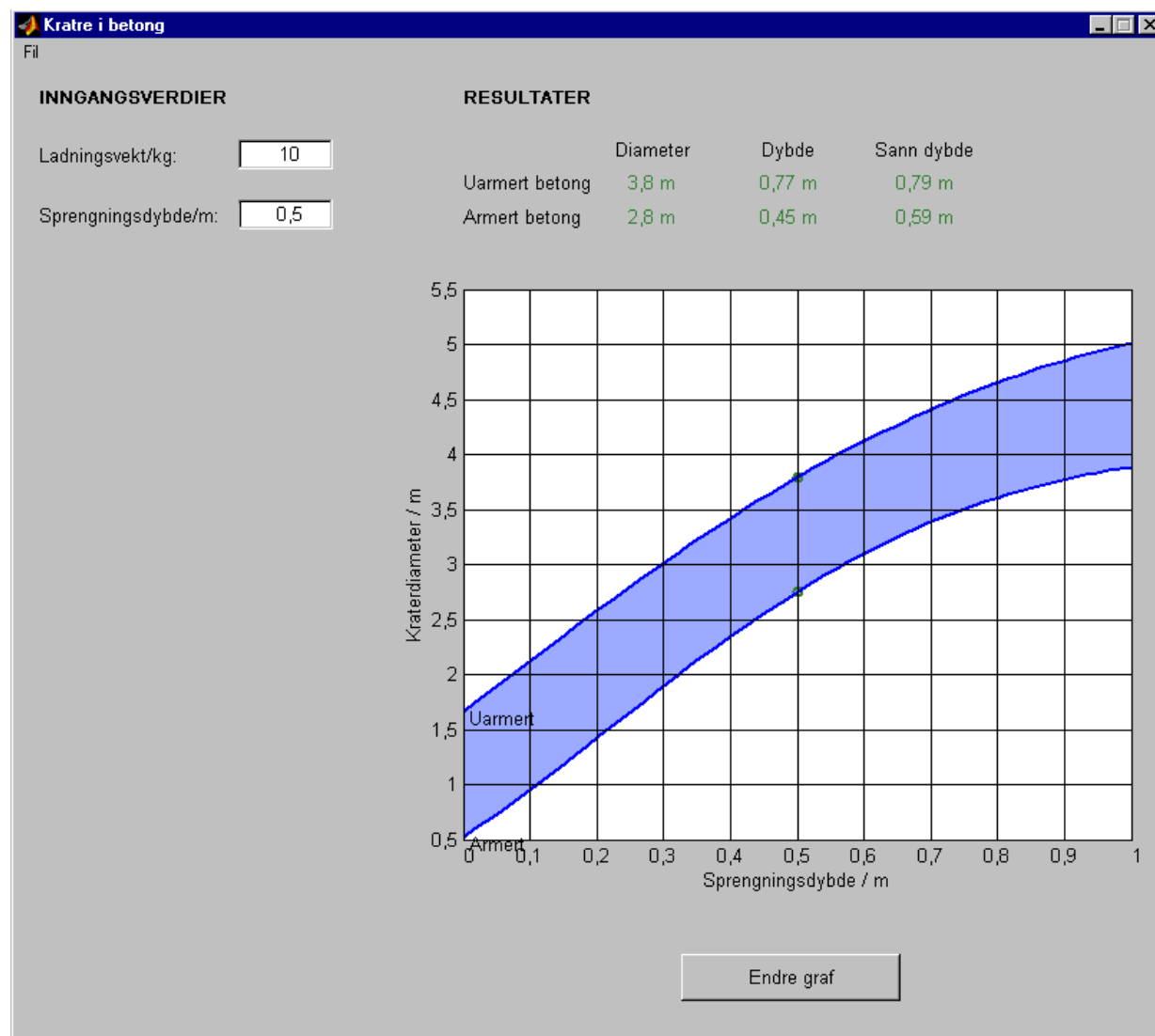
Beregningen av kraterdiameter og kraterdybde i jord bygger på data fra programmet CONWEP som ble gitt ut i tilknytning til (4), slik også figur H4.11 gjør. Kratervolum og høyde og bredde på kratervollen bestemmes med formlene (H4.23)-(H4.25). Videre brukes de ekvivalente massefaktorene vist i tabell H4.5.

### 3.11.2 Brukergrensesnitt/programkode

Grunnlagsdataene for beregningene ligger i filen `jorddata.mat`. Når denne lastes inn, legges dataene i variabelen `handles.data` der de ulike kolonnene inneholder en rekke verdier for skalert sprengningsdybde og skalert diameter og dybde for de seks jordtypene.

## 3.12 Kratre i betong

Figur 3.16 viser programvinduet for beregning av kraterstørrelser i betong.



Figur 3.16 Brukergrensesnitt til program for beregning av kraterstørrelser i betong

### 3.12.1 Beregninger

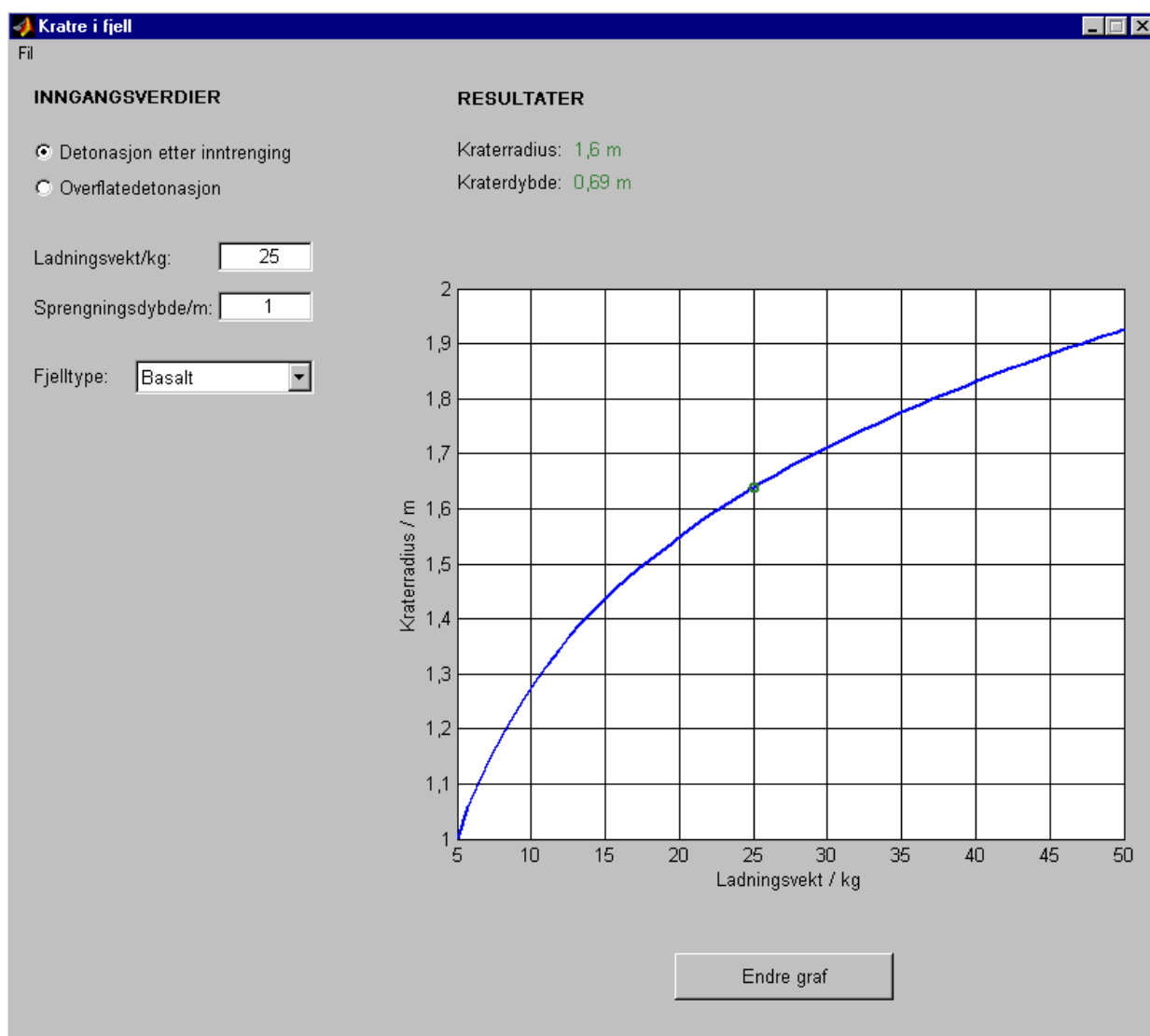
Kraterdiameter og kraterdybde i betong er gitt av data fra (4), se figur H4.12.

### 3.12.2 Brukergrensesnitt/programkode

Grunnlagsdataene finnes i filen 'kratre\_bet.mat'. Disse legges inn i `handles.data`.

## 3.13 Kratre i fjell

Figur 3.17 viser programvinduet for beregning av kraterstørrelser i fjell.



Figur 3.17 Brukergrensesnitt til program for beregning av kraterstørrelser i fjell

### 3.13.1 Beregninger

Når kraterstørrelser i fjell skal beregnes, skilles det mellom detonasjon etter inntrengning og overflatedetonasjon. Ved detonasjon etter inntrengning finnes kraterradius og kraterdybde fra

data fra (5) slik figur H4.13 viser. Ved overflatedetonasjon finnes kraterdimensjonene fra formlene (H4.27) og (H4.28).

### 3.13.2 Brukergrensesnitt/programkode

Grunnlagsdataene hentes fra filen `kratre_fjell.mat` og legges inn i `handles.data`.

Som en indeks for om det er valgt detonasjon under eller på overflaten, brukes variabelen `handles.s` med verdiene 1 eller 2. Forskjellige egenskaper til grafen i de to situasjonene vil bevares.

Valgene under 'Endre graf' vil være avhengig av valgene i hovedvinduet, for ved overflatedetonasjon er ikke sprengningsdybde et mulig valg av variabel. For at det skal kunne gjøres endringer i hovedvinduet mens 'Endre graf' er åpen, er det lagt til et kall til `graf_Callback` i tilbakekallsfunksjonen til knappene for valg av detonasjonssted. I kallet settes den første parameteren, som vanligvis er referansen til det aktuelle objektet, til 0. I `graf_Callback` brukes denne parameterverdien til å bestemme om det er et 'Endre graf'-vindu åpent, og hvis det er det, om noe skal endres der.

## 3.14 Kratre i rullebaner

Figur 3.18 viser programvinduet for beregning av kraterstørrelser i rullebaner.

### 3.14.1 Beregninger

Til beregning av kraterstørrelser i rullebaner med betongdekke brukes formler som er tilpasset figurer i (6). Formlene er ført opp i appendiks C. Beregningene for asfaltdekke bygger på data produsert av programmet CONWEP (4) og lagret i `asfalt.mat`.

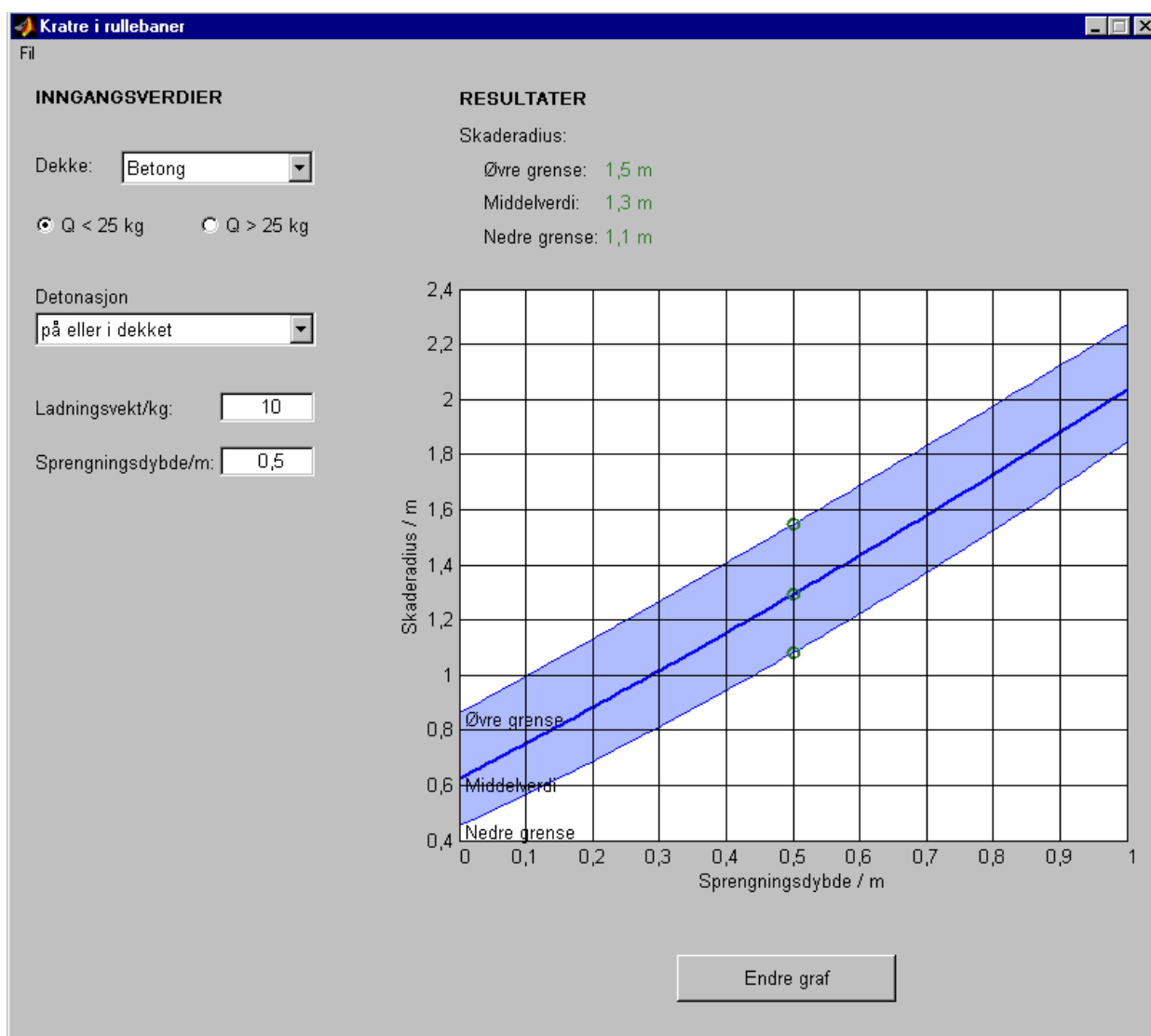
### 3.14.2 Brukergrensesnitt/programkode

Brukergrensesnittet inneholder flere valgmuligheter, først mellom betongdekke og asfaltdekke og videre mellom alternativer gitt av valgene. Hvilke resultatstørrelser som vises, er også avhengig av valgene som er gjort under inngangsverdier.

I koden er det definert tre hovedalternativer: Betongdekke med ladningsvekt  $Q < 25$  kg, betongdekke med  $Q > 25$  kg og asfaltdekke.

Når det velges et dekke, lagres først det eksisterende valget i listen nedenfor (`popupmenu2`) før innholdet i listen endres i samsvar med det nye valget og eventuelt ladningsstørrelse. Valg av element i den nye listen settes til det tidligere valget for denne situasjonen. Siden asfalt og betong/ $Q > 25$  kg har samme inngangsvariable, beholdes listeverdiene når det skiftes mellom disse to situasjonene. Ladningsvekten overføres fra betong/ $Q > 25$  kg til asfalt, men ikke andre veien.

Som i programmet for kratre i fjell, kan det gjøres endringer i hovedvinduet som påvirker



Figur 3.18 Brukergrensesnitt til program for beregning av kraterstørrelser i rullebaner

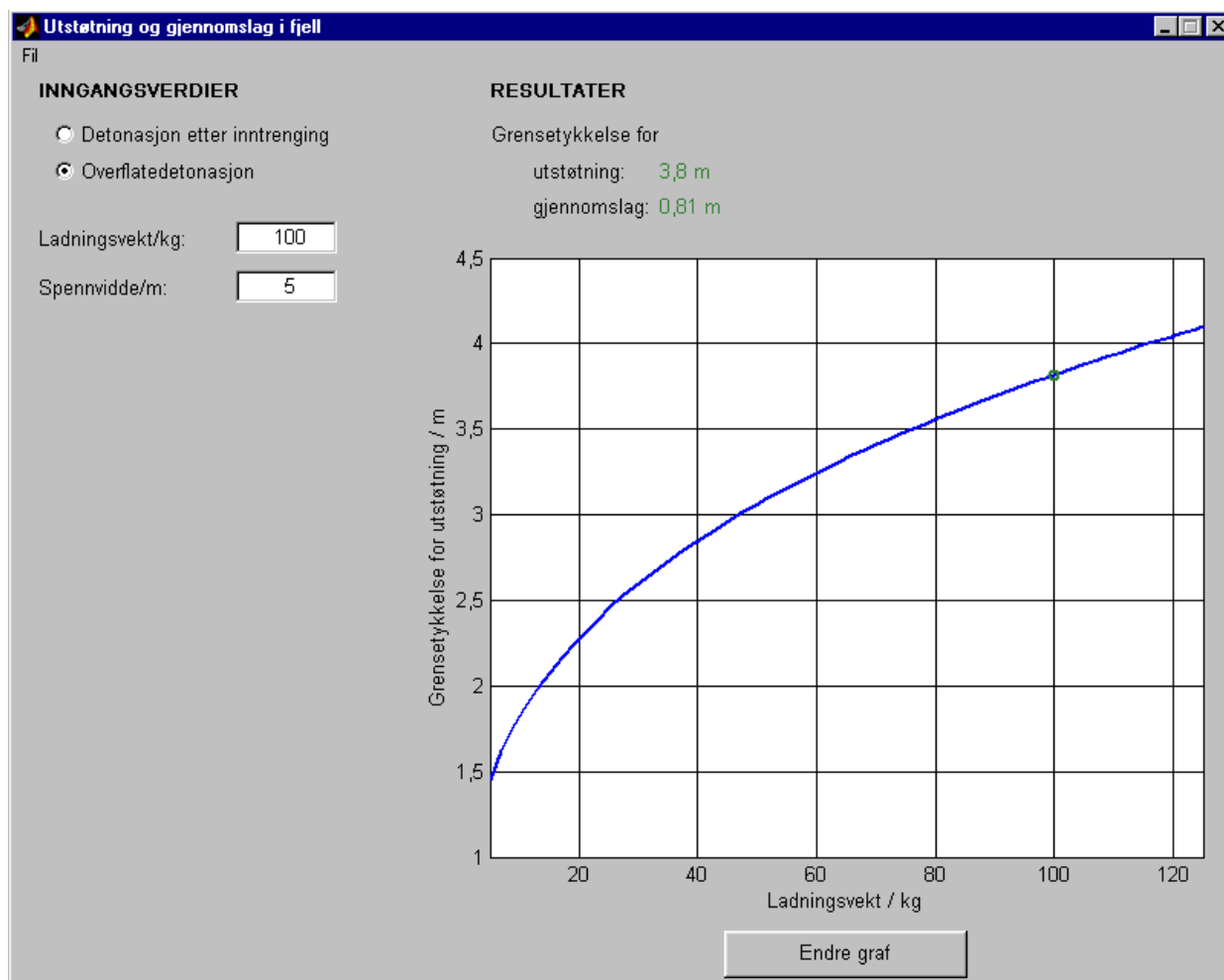
valgmuligheten i 'Endre graf'. Prinsippet med å kalle `graf_Callback` med en nullverdi i stedet for referansen til 'Endre graf'-vinduet er det samme i de to programmene selv om algoritmene ikke er identiske.

### 3.15 Utstøtning og gjennomslag i fjell

Figur 3.19 viser programvinduet for beregning av utstøtning og gjennomslag i fjell.

#### 3.15.1 Beregninger

Som for kratre i fjell er programmet delt opp etter om det er detonasjon etter inntrengning eller overflatedetonasjon. Ved overflatedetonasjoner brukes formel (H4.30) til å beregne grensetykkelse for utstøtning og (H4.35) til grensetykkelse for gjennomslag. Ved detonasjon etter inntrengning er grenseavstand for utstøtning gitt av (H4.34). Parametere for ulike fjelltyper, se tabell H4.2, er inkludert.



Figur 3.19 Brukergrensesnitt til program for beregning av grensetykkelse for utstøtning og gjennomslag i fjell

### 3.15.2 Brukergrensesnitt/programkode

På tilsvarende måte som i programmene for kratre i rullebaner og fjell, kan endringer i hovedvinduet påvirke valgmulighetene i et åpent 'Endre graf'-vindu gjennom `graf_Callback`.

## APPENDIKS

### A LITT OM GRUNNSJOKK

#### A.1 Bølgelengde og varighet

FH1990 inneholder en generell formel for bølgelengden til grunnsjokket.

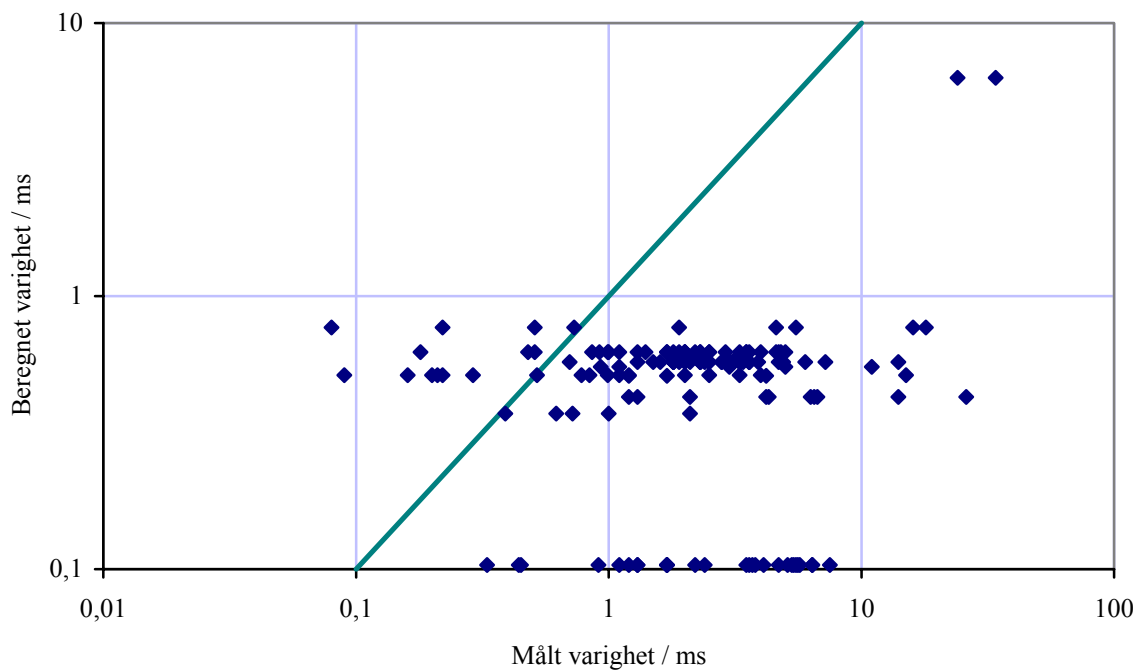
$$\lambda = 3 \cdot 10^{-4} Q^{1/3} c \quad (\text{A.1})$$

der  $c$  er den seismiske hastigheten. Denne formelen er i håndboka erstattet av en formel som bare gjelder for volumbølger i fjell, (H4.1), og som er utledet fra forsøksdata.

Vi har undersøkt hvordan (A.1) stemmer overens med eksperimentelle resultater. Bølgelengden anslås vanligvis til

$$\lambda = ct_d \quad (\text{A.2})$$

der  $t_d$  er varigheten. (A.1) og (A.2) gir da et uttrykk for varigheten som kan sammenliknes med varigheter avlest fra trykk-tidkurver i utførte forsøk (7)-(11), se figur A.1.



Figur A.1 Grunnsjokkets varighet i forsøk (7)-(11) sammenliknet med varigheter beregnet ut fra formelen for bølgelengde i FH1990

Det ser ut fra dette ikke ut som formelen i FH1990 er egnet til å anslå bølgelengden.

Det finnes andre formler for å anslå varigheten. Varigheten til trykkbølgen i bakken settes ofte lik ankomsttida,  $t_a$ , som Drake (12) anslår til

$$t_a = 3,3 \cdot 10^{-4} \epsilon_0 \left( \frac{\rho_0 R_c^5}{kQ} \right)^{1/2} + \frac{R - R_c}{c} \quad (\text{A.3})$$

der  $\epsilon_0$  angir den irreversible sammenpressingen bak bølgefronten,  $\rho_0$  er tetthet i bakken,  $R_c = 0,155 Q^{1/3}$ ,  $Q$  er ladningsvekt,  $k = \frac{1 - \epsilon_0}{1 - \frac{2}{3}\epsilon_0}$  og  $R$  er avstand fra detonasjonen.  $\epsilon_0$  kan anslås ut fra dempingskoeffisienten  $n$  (12):

$$\epsilon_0 = \frac{n - 2}{n + 1} \quad (\text{A.4})$$

Når  $R > R_c$ , vil sjokkbølgehastigheten nærme seg lydastigheten  $c$  og (A.3) gir tilnærmet samme resultater som den ofte brukte formelen  $t_a = R/c$ .

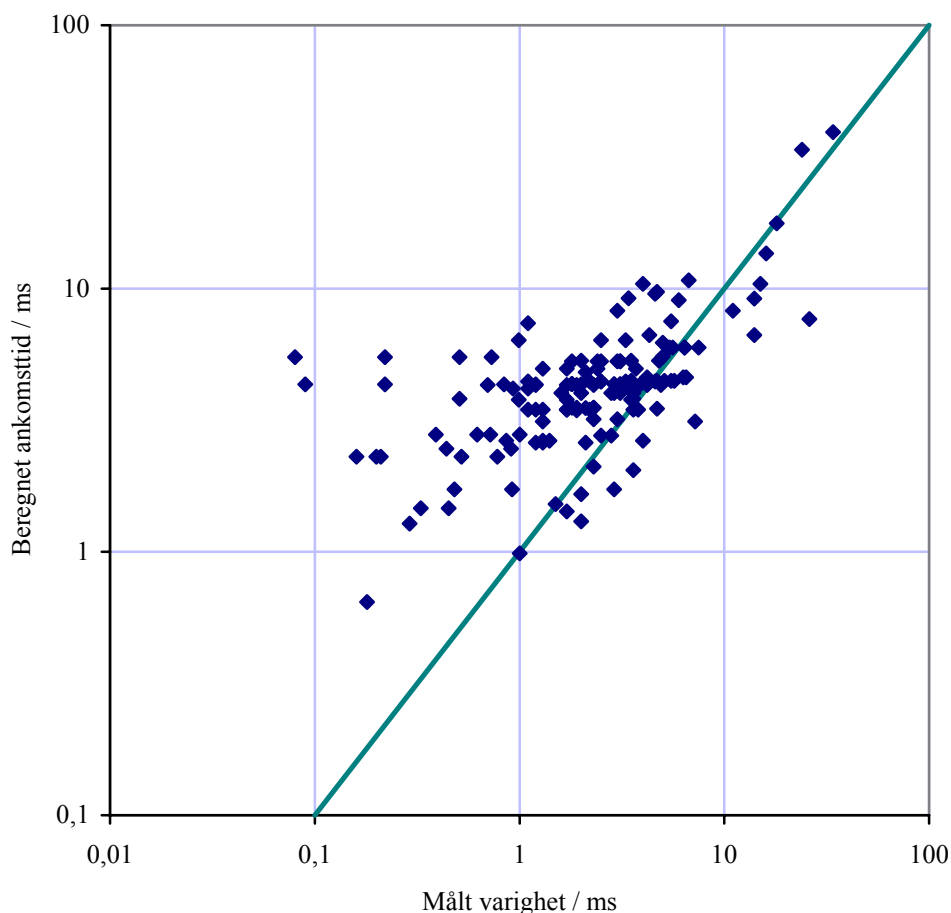
Med (A.3) blir sammenhengen mellom målte og beregnede varigheter slik figur A.2 viser.

Korrelasjonskoeffisienten er 0,56; dersom  $R/c$  brukes til å anslå varigheten, synker koeffisienten til 0,26. Uansett er spredningen stor.

Ifølge (12) kan forholdet mellom varigheten eller tidskonstanten og ankomsttida variere mellom 1 og 3. I forsøksresultatene er forholdet i gjennomsnitt 3,2 med et standardavvik på 3,5, hvis ankomsttida antas å være den formel (A.3) gir.

Blant annet for å skille områdene for volumbølger eller overflatebølger, hadde det vært ønskelig å kunne anslå bølgelengden også i løsmasser. Dette er imidlertid viktigere i fjell der bølgelengden vil være betydelig større. Når usikkerheten i formlene er så stor, er det likevel liten hensikt i å ha disse med i håndboka.





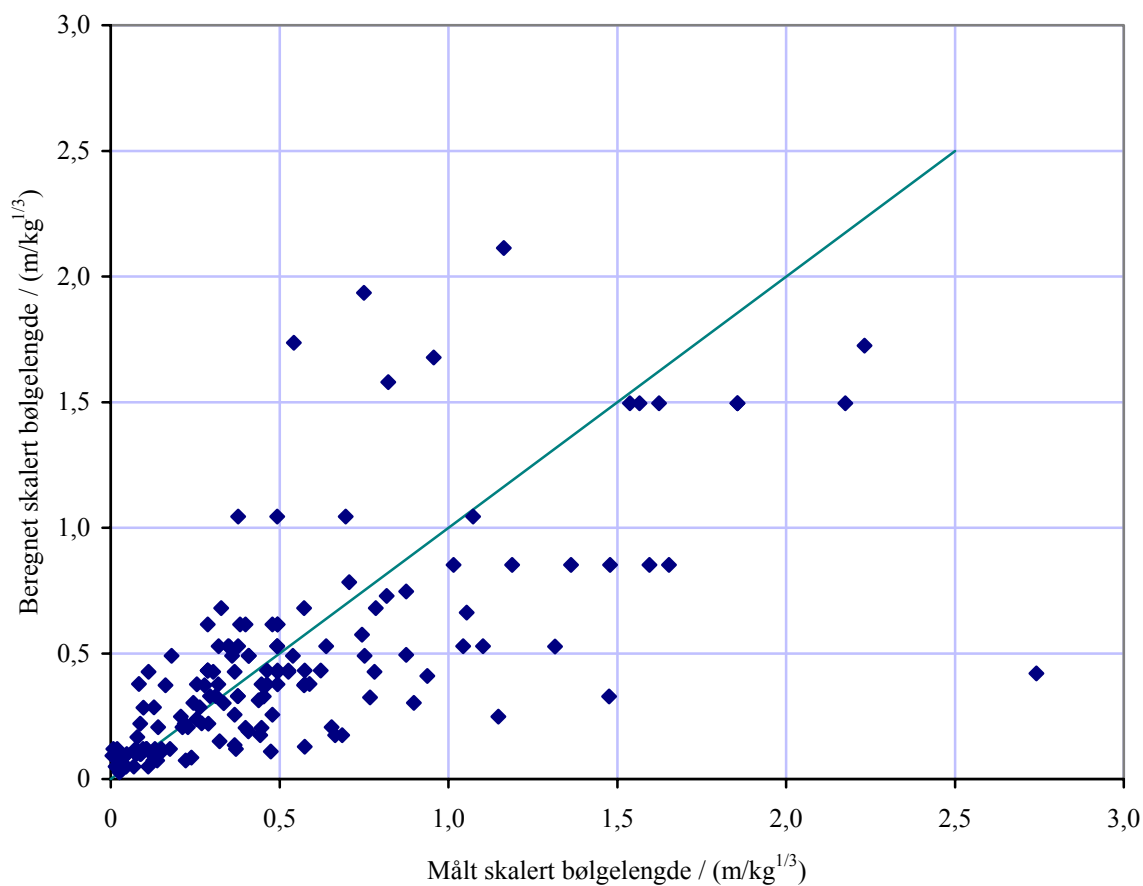
Figur A.2 Grunnsjokkets varighet i forsøk (7)-(11) og ankomsttider beregnet med (A.3)

Et grovt anslag for bølgelengden kunne finnes ved å se på den eksperimentelle sammenhengen mellom bølgelengde og varighet. Med vanlig kubikkrotskalering skal både  $\lambda$  og  $R$  være skalert med  $Q^{1/3}$ . Hvis vi antar en formel på potensform, blir resultatet av en formeltilpasning

$$\frac{\lambda}{Q^{1/3}} = 0,054c^{0,42} \left( \frac{R}{Q^{1/3}} \right)^{2,1} \quad (\text{A.5})$$

Ut fra forsøksdataene er sannsynligheten for at  $c$  ikke har betydning 0,1 %, mens for  $R$  er denne sannsynligheten mindre enn  $10^{-30}$ . Figur A.3 viser beregnede og målte verdier for bølgelengden.

Korrelasjonskoeffisienten er 0,67. Selv om samsvaret mellom formel og forsøk er bedre enn med de andre undersøkte formlene, er det ikke funnet godt nok til å ta formelen med i håndboka. Tilsvarende er det heller ikke tatt med formler for varighet eller ankomsttid.

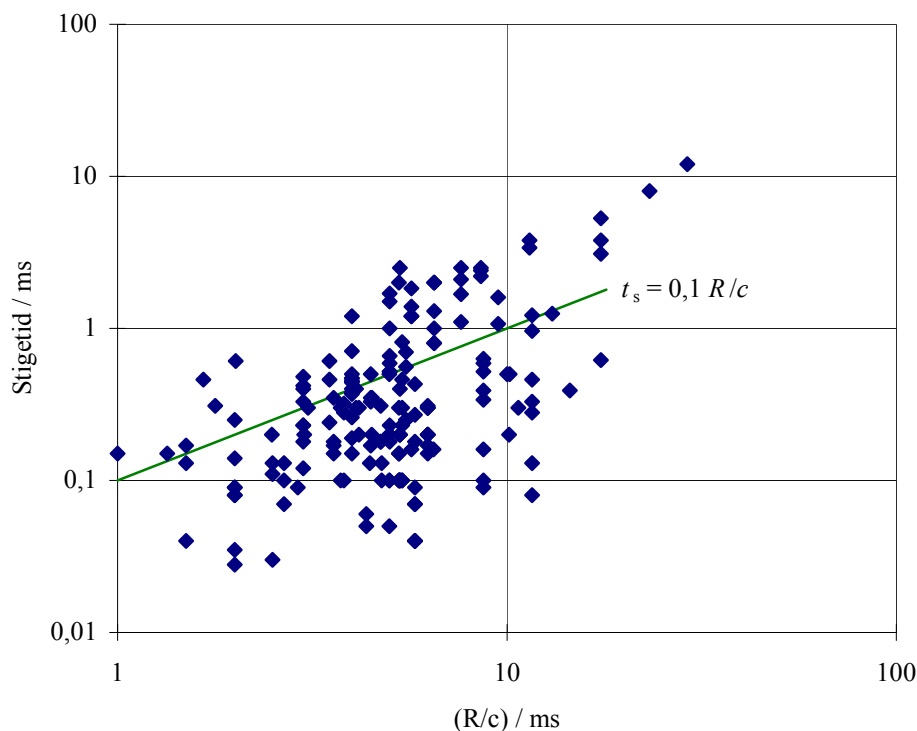


Figur A.3 Bølgelengder bestemt fra forsøk (7)-(11) og beregnet med formel (A.5)

For å bestemme stigetida til sjokkbølgen i bakken, brukes vanligvis

$$t_s = 0,1 \left( \frac{R}{c} \right) \quad (\text{A.6})$$

Vi har sammenliknet dette med forsøksresultater, se figur A.4. Figuren viser at forholdet gitt i (A.6) stemmer forholdsvis dårlig med utførte forsøk, og det er derfor ikke tatt med i håndboka.



Figur A.4 Sammenheng mellom stigetid og  $R/c$  i forsøk (7)-(11)

## A.2 Partikkelforskyvning og –hastighet i fjell

Formelen for partikkelforskyvning i fjell (H4.2) var i FH1990 oppført som en formel for maksimal vertikal forskyvning rett under detonasjonspunktet. Den er utledet av Broberg (13) og gjelder i utgangspunktet rett under detonasjonspunktet, altså i volumbølgeområdet. Formelen skal også gi en oppfatning av forskyvningsamplituden i punkter som ikke ligger loddrett under ladningen, og det er rimelig så lenge det er snakk om volumbølger.

I FH1990 var det egne formler for forskyvning i fjell skrått ut fra detonasjonspunktet, det vil si i området for overflatebølger. Disse formlene var også utviklet av Broberg (13). Broberg har beregnet den vertikale og radielle forskyvningen ved overflaten av et isotropt, halvuelendig og lineært elastisk medium som utsettes for en belastning i et punkt. Så har han tilpasset enkle formler til resultatene:

$$x = Q^{1/3} x_1 \sqrt{\frac{Q^{1/3}}{R}} e^{-\alpha \frac{t/Q^{1/3}}{t_1}} \sin \pi \frac{t/Q^{1/3}}{t_1} \quad (\text{A.7})$$

der  $x$  er partikkelforskyvning,  $x_1$  har verdien  $0,17 \text{ mm/kg}^{1/3}$  for vertikal forskyvning og  $0,10 \text{ mm/kg}^{1/3}$  for radiell (horisontal) forskyvning,  $\alpha = 1,6$  og  $t_1 = 0,4 \text{ ms/kg}^{1/3}$ . Maksimalverdien blir

$$x_{\text{maks}} = 0,5Q^{1/3}x_1\sqrt{\frac{Q^{1/3}}{r}} \quad (\text{A.8})$$

mens Broberg oppgir faktoren 2 i stedet for 0,5. Dette er satt inn i FH1990 som formel for horisontal forskyvning skrått ut fra detonasjonspunktet.

Ut fra (A.8) og formelen for forskyvning i dybden (H4.2) lages en ny formel som gir samme resultater som overflateformelen for store avstander og som dybdeformelen for små avstander.

$$x_z = 0,5Q^{1/3}x_0\sqrt{R/Q^{1/3}}\left[6 + (R/Q^{1/3})^4\right] \quad (\text{A.9})$$

der  $x_0 = 0,1 \text{ mm/kg}^{1/3}$ . Ifølge Broberg er altså overflatebølger dominerende ved store avstander og volumbølger ved små avstander. Dette har imidlertid også med detonasjonsdybden å gjøre, og det er trolig derfor denne formelen bare er gjort gjeldende skrått ut fra detonasjonspunktet i FH1990. For øvrig er faktoren 2 og ikke 0,5 brukt ved sammensetningen av (A.9), jf. (A.8).

I håndboka er det valgt å ikke ta med noen formler for overflatebølger. Det skyldes for det første at det er en grov tilnærming å anta at (A.9) gjelder for alle vinkler bortsett fra rett nedover ved større avstander. Videre gir formelen trolig en faktor 4 for høye forskyvninger. Det er tidligere fremhevet at fjellanlegg ofte vil befinne seg i overflatebølgeområdet, men med den gode treffsannsynligheten til moderne våpen er det mer sannsynlig at anlegget vil befinne seg under detonasjonspunktet, det vil si i et område hvor volumbølger er viktigst. (H4.2) vil for øvrig gi den radielle forskyvningen i hele volumbølgeområdet, men denne vil ikke være bare vertikal skrått ut fra detonasjonspunktet.

I håndboka er det i (H4.2) lagt til en koplingsfaktor  $f_k$  som gjør det mulig å bruke formelen også for detonasjoner etter inntrengning. I samsvar med dette er konstanten i formelen økt med en faktor 1,6.

## B UTVALGTE EGENSKAPER HOS GRAFISKE OBJEKTER

Oversikten nedenfor gir en beskrivelse av grafiske objekters egenskaper som benyttes i programmene eller er gitt verdier som ikke er standard.

### B.1 Felles egenskaper

FontName/FontSize er satt til Arial/10 pt.

Tag er betegnelse på objektet. Når variabelen handles opprettes, legges indikatorverdien til objektene i et felt med dette navnet.

Units er måleenhet til egenskapene Extent og Position. For figurene er den 'pixels', mens

for de andre objektene er den 'characters'. 'characters' betyr at en enhet er bredden på bokstaven x i standard bokstavtype og størrelse, høyden er avstanden mellom to tekstlinjer.

`UserData` kan defineres for alle typer objekter og kan inneholde alle slags data. Det brukes i første rekke til kopi av teksten i redigerbare tekstbokser.

`Visible` definerer om et objekt er synlig ('on') eller usynlig ('off'), objektets andre egenskaper påvirkes ikke av dette. Flere av programmene benytter usynlige objekter.

## B.2 Figurer

`MenuBar` er satt til 'none' slik at ingen standardmenyer vises i vinduet.

`Name` gir navn på figurvinduet

`PaperOrientation` er satt til 'landscape'.

`PaperPositionMode` er satt til 'auto' for hovedvinduene, da skrives figuren ut med samme størrelse som den vises på skjermen og sentrert på siden.

`RendererMode` er satt til 'auto' slik at gjengivelsen på utskrift og på skjerm bestemmes ut fra innholdet i figuren.

`Resize` definerer om det er mulig å forandre størrelsen på figurvinduet og er satt til 'off'.

`WindowButtonMotionFunction` utføres når musepekeren beveges innenfor et vindu. Den er definert for 'programmer'.

`WindowStyle` kan være 'modal', det vil si at vinduet må lukkes før noe kan gjøres i andre vinduer under MATLAB. Det andre alternativet er 'normal'.

## B.3 Grafer

`Box` er satt til 'on' slik at det er ramme på grafen.

`ButtonDownFcn` definerer hvilken kommando som utføres når det klikkes på et objekt. Funksjonen er definert for grafene og kaller funksjonen som åpner 'Endre graf'-vinduet (`graf_Callback`).

`Color` er bakgrunnsfargen i grafen, og den er hvit.

`GridLineStyle` definerer utseendet på hjelpelinjer og er satt til '-'.

## B.4 Linjer

`Color` er grønn, [0,19 0,5 0,19], for punkter og blå [0 0 1] for linjer.

`LineStyle` er 'none' for punkter, ellers standard '-'.

`LineWidth` er satt til 2 pt.

`Marker` som gir utseendet på datapunkter er definert som en sirkel 'o' hvis den ikke er 'none'.

`MarkerSize` er 5 pt.

## B.5 Flater

`FaceColor` er fargen på flatene som er gitt blåfargen [0.686 0.737 1].

## B.6 UI-styrere

`Callback` inneholder kommandoen som utføres når et UI-objekt aktiveres ved å skrive inn tekst, velge et listeelement, trykke en knapp etc. `Callback`-rutinen til et objekt gis navnet 'objektnavn\_Callback' og til rutinen overføres identifikatoren til objektet sammen med 'handles'-variabelen.

`ForegroundColor` er farge på tekst, og den er generelt grønn for resultatverdier, grå for verdier som ikke har betydning, og ellers svart.

`String` er for de fleste objekttyper teksten som vises på objektet. I en liste er alle elementene inkludert i `String`. Teksten som skrives inn i en redigerbar tekstboks, legges under `String`.

`TooltipString` er tekst som vises når musepekeren plasseres over et objekt. Dette er definert for mange av objektene.

`Value` angir for lister hvilket av elementene som er valgt. For avmerkingsbokser, trykknapper, valgknapper og vippebrytere viser `Value` om objektet er markert eller valgt.

## C TILPASSEDE FORMLER FOR KRATERSTØRRELSER I RULLEBANER MED BETONGDEKKE

I formlene er kraterstørrelsene og sprengningsdybden  $z$  skalert med  $Q^{1/3}$ .

## C.1 Q < 25 kg

### C.1.1 Detonasjon på eller i dekket, skalert skaderadius for dekke

Øvre grense:

$$r_s = 0,17 z^2 + 1,33 z + 0,4 \quad 0 < z \leq 0,52 \quad (\text{C.1})$$

Middelverdi:

$$r_s = 0,32 z^2 + 1,26 z + 0,29 \quad 0 < z \leq 0,54 \quad (\text{C.2})$$

Nedre grense:

$$r_s = 0,59 z^2 + 1,12 z + 0,21 \quad 0 < z \leq 0,54 \quad (\text{C.3})$$

### C.1.2 Detonasjon under dekket, skalert skaderadius

Øvre grense:

$$r_s = \begin{cases} 1,85z^3 - 3,23z^2 + 2,05z + 1,243 & 0,05 \leq z \leq 0,722 \\ -2,33z^3 + 5,979z^2 - 5,03z + 3,128 & 0,722 < z \leq 1,308 \\ -216,665z^3 + 865,123z^2 - 1153,42z + 514,984 & 1,308 < z \leq 1,449 \\ -226,474z^2 + 637,78z - 447,711 & 1,449 < z \leq 1,48 \end{cases} \quad (\text{C.4})$$

Middelverdi:

$$r_s = \begin{cases} 9,08z^3 - 13,7z^2 + 7,17z + 0,183 & 0,20 \leq z \leq 0,567 \\ -1,143z^3 + 2,295z^2 - 1,407z + 1,767 & 0,567 < z \leq 1,119 \\ -0,831z + 2,395 & 1,119 < z \leq 1,167 \\ -71,401z^3 + 251,364z^2 - 296,078z + 118,097 & 1,167 < z \leq 1,308 \\ -14,072z + 19,501 & 1,308 < z \leq 1,35 \end{cases} \quad (\text{C.5})$$

Nedre grense:

$$r_s = \begin{cases} 21,18z^3 - 34,51z^2 + 19,14z - 2,279 & 0,32 \leq z \leq 0,619 \\ -1,5z^3 + 2,679z^2 - 1,317z + 1,513 & 0,619 < z \leq 1,025 \\ -450,566z^2 + 1368,134z^2 - 1384,986z + 468,787 & 1,025 < z \leq 1,119 \\ -1072,944z^2 + 2340,966z - 1275,249 & 1,119 < z \leq 1,13 \end{cases} \quad (\text{C.6})$$

## C.2 Q > 25 kg

### C.2.1 Over tørr til fuktig sand og leire

#### Skaderadius for dekke

Øvre grense:

$$r_s = \begin{cases} 0,489z^3 - 1,931z^2 + 2,523z + 0,982 & 0,05 \leq z \leq 1,35 \\ -2,487z^3 + 10,973z^2 - 16,329z + 10,237 & 1,35 < z \leq 1,9 \end{cases} \quad (\text{C.7})$$

Middelvei:

$$r_s = \begin{cases} 1,258z^3 - 3,287z^2 + 3,27z + 0,631 & 0,05 \leq z \leq 0,9 \\ -0,536z^2 + 1,197z + 1,185 & 0,9 < z \leq 1,7 \\ -2,844z^2 + 8,878z - 5,203 & 1,7 < z \leq 1,9 \end{cases} \quad (\text{C.8})$$

Nedre grense:

$$r_s = \begin{cases} 1,15z^3 - 3,45z^2 + 3,58z + 0,303 & 0,25 \leq z \leq 1,1 \\ -2,043z^3 + 7,2z^2 - 8,62z + 5,086 & 1,1 < z \leq 1,77 \end{cases} \quad (\text{C.9})$$

#### Sann kraterradius i dekke:

$$r_k = -0,604z^3 + 0,398z^2 + 0,938z + 0,442 \quad 0 < z \leq 1,6 \quad (\text{C.10})$$

### C.2.2 Over våt sand og leire

#### Skaderadius for dekke

Øvre grense:

$$r_s = \begin{cases} 21,04z^3 - 11,69z^2 + 3,16z + 1,136 & 0 < z \leq 0,249 \\ -0,275z^3 + 0,163z^2 + 0,896z + 1,294 & 0,249 < z \leq 1,633 \\ -3,313z^3 + 16,017z^2 - 26,858z + 17,568 & 1,633 < z \leq 2,08 \end{cases} \quad (\text{C.11})$$



Nedre grense:

$$r_s = \begin{cases} 73,97z^3 - 35,14z^2 + 6,48z + 0,619 & 0 < z \leq 0,203 \\ -0,144z^3 + 0,791z + 0,946 & 0,203 < z \leq 1,218 \\ -3,068z^3 + 11,005z^2 - 13,273z + 7,033 & 1,218 < z \leq 1,725 \\ -250,977z^3 + 1307,4z^2 - 2273,546z + 1320,924 & 1,725 < z \leq 1,827 \\ -550,573z^2 + 1992,968z - 1802,772 & 1,827 < z \leq 1,84 \end{cases} \quad (\text{C.12})$$

Sann kraterradius i dekke

Øvre grense:

$$r_k = \begin{cases} 20,93z + 0,3 & 0 < z \leq 0,018 \\ 172,8z^3 - 62,46z^2 + 8,28z + 0,547 & 0,018 < z \leq 0,157 \\ -0,434z^2 + 0,904z + 0,845 & 0,157 < z \leq 0,941 \\ -1,368z^3 + 3,612z^2 - 3,264z + 2,324 & 0,941 < z \leq 1,679 \\ -18,53z^2 + 59,318z - 46,807 & 1,679 < z \leq 1,79 \end{cases} \quad (\text{C.13})$$

Nedre grense:

$$r_k = \begin{cases} 95,68z^3 - 44,88z^2 + 7,69z + 0,305 & 0 < z \leq 0,203 \\ -0,903z^3 + 0,878z^2 + 0,273z + 0,733 & 0,203 < z \leq 1,356 \\ -20,784z^2 + 54,65z - 35,423 & 1,356 < z \leq 1,47 \end{cases} \quad (\text{C.14})$$

## Litteratur

- (1) Øgrim O, Lian B E (2001): Fysiske størrelser og enheter, Universitetsforlaget, Oslo
- (2) Sjøel H, Teland J A (2001): Perforation of concrete targets, FFI/RAPPORT-2001/05786, Forsvarets forskningsinstitutt
- (3) (1998): Design and Analysis of Hardened Structures to Conventional Weapons Effects, Army TM5-8551/Air Force AFPAM 32-1147(I)/Navy NAVFAC P-1080/DSWA DAHSCWEMAN-97, Washington D.C.
- (4) Headquarters, Department of the Army (1986): Fundamentals of Protective Design for Conventional Weapons, TM5-855-1, Washington D.C.
- (5) Davis L K, McAneny C C (1981): Project SPERRE, Summary Report: Road Cratering in Rock with Pre-emplaced Charges, Technical Report SL-81-5, Report 5, U.S. Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi
- (6) Davis L K (1976): Vulnerability of airfield runway pavements to conventional munitions, Technical Report N-76-2, U.S. Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi
- (7) Fuehrer H R, Keeser J W (1977) : Response of Buried Concrete Slabs to Underground Explosions, AFATL-TR-77-115, Orlando Technology, Inc., Orlando, Florida, BEGRENSSET
- (8) Fuehrer H R, Keeser J W (1978) : Breach of Buried Concrete Structures, AFATL-TR-78-92, Orlando Technology, Inc., Orlando, Florida, BEGRENSSET
- (9) Hossley J R, Albritton G E (1979) : ESSEX - Diamond Ore Research Program, Hardened Structure Response, Project ESSEX V, Technical Report SL-79-11, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, BEGRENSSET
- (10) Baylot J T, Kiger S A, Marchand K A, Painter J T (1985) : Response of Buried Structures to Earth-Penetrating Conventional Weapons, ESL-TR-85-09, Engineering and Services Laboratory, Air Force Engineering and Services Center, Tyndall Air Force Base, Florida, BEGRENSSET
- (11) Hayes P G (1989) : Backfill Effects on the Response of Buried Reinforced Concrete Slabs, Technical Report SL-89-18, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi
- (12) Applied Research Associates (1991): Ground Shock, Cratering and Ejecta, Forsvarets bygningstjeneste
- (13) Broberg K B (1963): Om skydd mot markskakningseffekter i berg, FortF/F Rapport 109:18, Stockholm