



Kraterdimensioner vid explosioner på eller i mark

RICKARD FORSÉN

Rickard Forsén

Kraterdimensioner vid explosioner på eller i mark

Titel	Kraterdimensioner vid explosioner på eller i mark
Title	Crater dimensions after detonations on or below ground level
Rapportnr/Report no	FOI-R--3930--SE
Månad/Month	Oktober/October
Utgivningsår/Year	2014
Antal sidor/Pages	19 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	Försvarsmakten/Swedish Armed Forces
Forskningsområde	11. Vapen, Skydd och säkerhet
FoT-område	Vapen och skydd
Projektnr/Project no	E20561
Godkänd av/Approved by	Bengt Eiderfors
Ansvarig avdelning	Försvars- och säkerhetssystem

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden.

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729). Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

Sammanfattning

Vid detonation av explosivämne på eller i marken kan en krater uppkomma i marken och påverkan kan ske på intilliggande konstruktioner. Om detonationen sker på eller under en belagd markyta, t.ex. en rullbana på ett flygfält, kan skador uppkomma på beläggningen. I föreliggande rapport redovisas enkla samband för bedömning av skadornas utbredning. Sambanden är baserade på uppgifter hämtade i litteratur om experimentella undersökningar men även beräkningsanvisningar i handböcker.

Nyckelord: vapenverkan, kraterdimensioner, beläggningsskador

Summary

A detonating high explosive charge located on or below ground surface may create a crater and adjacent structures and objects may be affected. If the detonation occurs on or below a paved surface, such as a runway at an airfield, the pavement may be damaged. In this report simple formulas are presented for estimation of damage extent. The formulas are based on review of literature about experiments but also fortification handbooks.

Keywords: weapon effects, crater dimensions, pavement damage

Innehållsförteckning

1	Inledning	6
2	Kraterdimensioner vid detonation uppe på icke belagd markyta	7
3	Konventionella vapen mot rullbanor	9
3.1	Kraterradier	9
3.2	Kraterdjup.....	11
3.3	Radier för skadad beläggning	13
3.4	Kratervolymer.....	14
3.5	Dimensioner för "camouflet mode"-krater	14
4	Sammanfattning	17
5	Referenser	19

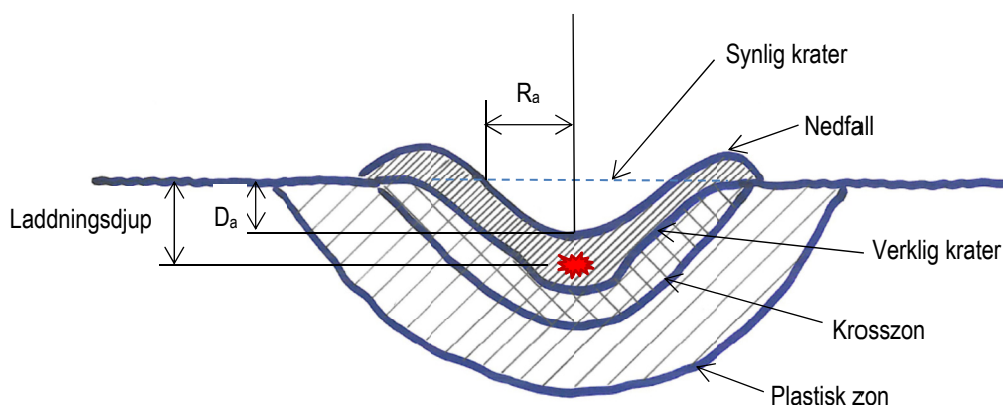
1 Inledning

Detonerande explosivämne placerat på eller i marken kan ge upphov till en krater. Kraterns dimensioner påverkas framför allt av laddningens massa och till viss del typ, geometri och eventuell inneslutning. Dessutom påverkas dimensionerna av djupet under markytan och markmaterialets egenskaper såsom sammansättning, fuktinnehåll och eventuell skiktning.

Orsaker till detonationer på eller i marken kan vara bekämpning av t.ex. vägar eller flygfält med konventionella vapen. Det kan också vara olycksexplosioner i ammunitionsförråd, samt bombdåd.

Det är viktigt att känna till kraterdimensioner vid bedömning av framkomligheten på näraliggande vägar samt skador på intilliggande konstruktioner såsom byggnader med eller utan källare och ledningar eller kablar i marken. Vid bedömning av skador på flygfälts rullbanor är det viktigt att känna till såväl kraterns dimensioner som skadeområdet för beläggningen för bedömning av reparationstider.

Påverkan på markmaterialet vid en detonation begränsar sig inte till själva kratern. I Figur 1 redovisas en principfigur över påverkan.



Figur 1. Påverkan på markmaterialet vid detonation i marken.

Vid detonation av laddningar på större djup uppkommer ingen synlig krater på markytan. Detta benämns med ett engelskt uttryck för "camouflated mode".

Exempel på referenser där kraterdimensioner redovisas är FortH1 1991, TM 5-855-1 1986 och 1989, Fortifikationshåndbok 1990, Basler & Hofman 1984, Drake, Twisdale, Frank och Dass 1989. Data från experiment finns sammanställt av Holsapple och Housen 2003. Exempel på referenser som handlar om sönderbrytning av beläggning till rullbanor är Kvammen, Pichumani och Dick 1972.

I föreliggande rapport presenteras enkla samband för kraterdimensioner baserade på litteraturuppgifter. Avsikten är att sambanden ska kunna användas för att, insatt i värderingsprogram eller använda separat, ge en rimlig uppfattning om skadeomfång. De samband som presenteras har framför allt två fokusområden, dels explosionsolycka i ammunitionsförråd, dels anfall med konventionella vapen mot rullbanor.

En avgränsning som gjorts i detta dokument är att enbart behandla kraterdimensioner i lösa markmaterial och inte i berg.

2 Kraterdimensioner vid detonation uppe på icke belagd markyta

I litteraturen förekommer framtagna samband gällande kraterdimensioner i termer av synlig och verklig kraterdjup. I vissa fall förekommer även data om kratervolymer. Principiellt kan man skilja på fyra konfigurationer nämligen detonation på (eller över) markytan samt laddningar på visst djup, dels för lösa markmaterial (sand och lera etc.) och dels bergmaterial av olika typ. Bäst överensstämmelse mellan olika referenser och olika försöksserier återfinns för kraterdjup vid detonation på ytan bestående av lösa markmaterial. Viss variation förekommer dock, sannolikt till del beroende på olika antaganden/förhållanden om exakt markmaterial, fuktighet m.m.

Nedan redovisas rimliga medelvärden från olika referenser för fallet detonation på ytan bestående av lösa markmaterial. Främsta tillämpningen är fallet med olycksexplosioner i ammunitionsförråd. Kraterdjup redovisas för explosion på torr sand respektive våt lera som utgör två ytterlighetsfall (förutom detonation på berg). Grundvärdet som anges är synlig kraterdjup (R_a) respektive synligt kraterdjup (D_a). Dessutom anges riktvärden för andra kraterdimensioner baserat på synliga dimensioner.

$$R_a = 0,4 \cdot M^{1/3} \text{ för torr sand} \quad (\text{Ekv. 1})$$

$$R_a = 0,9 \cdot M^{1/3} \text{ för våt lera} \quad (\text{Ekv. 2})$$

$$D_a = 0,2 \cdot M^{1/3} \text{ för torr sand} \quad (\text{Ekv. 3})$$

$$D_a = 0,55 \cdot M^{1/3} \text{ för våt lera} \quad (\text{Ekv. 4})$$

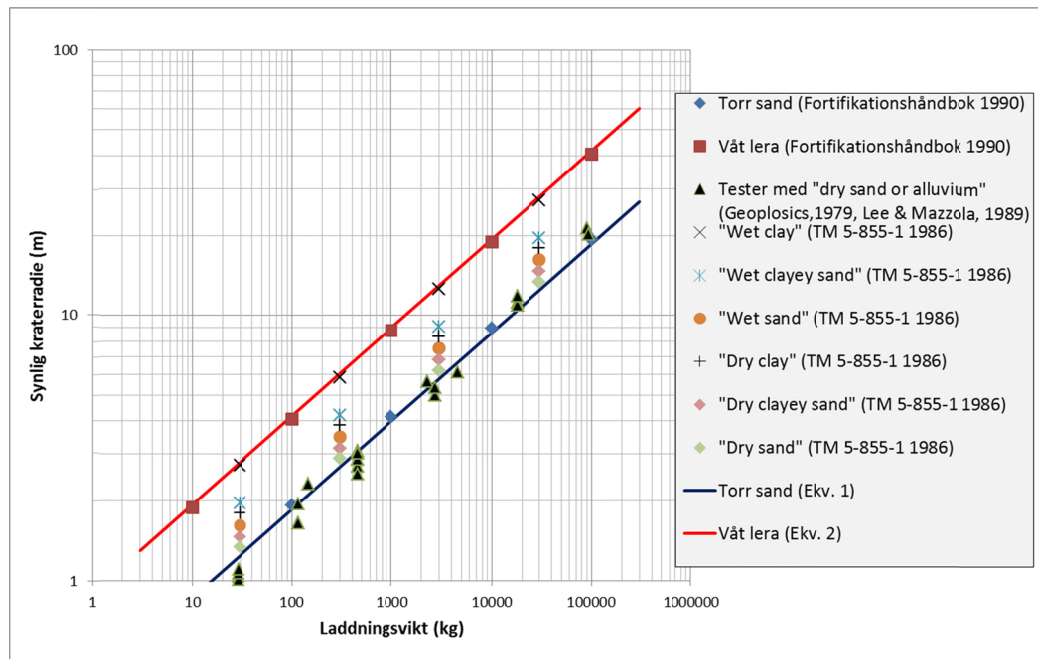
där

R_a = synlig kraterdjup (m)

D_a = synligt kraterdjup (m)

M = explosivämnets massa (beräknad ekvivalent trotylmassa) (kg)

I Figur 2 jämförs värden på kraterdjup från olika referenser med de valda sambanden.



Figur 2. Jämförelse från olika referenser av kraterdjup som funktion av laddningsvikt.

I TM5-855-1 (1986) redovisas hur andra parametrar kan bedömas utifrån den synliga kraterns dimensioner.

Verklig kraterdjup är ungefär samma som synlig (om ytdetonation).

Verkligt kraterdjup är ungefär samma som synligt (om ytdetonation).

Krosszonsradie är ca 1,5-2 gånger större än verklig kraterdjup.

Krossningsdjup är ca 1,3-2 gånger större än verkligt kraterdjup.

Radier och djup för plastisk zon är ca dubbelt så stora som krossningszonens.

Det bör påpekas att de dimensioner som anges till mycket stor del baseras på experiment med koncentrerade laddningsgeometrier. Kraterdimensioner vid samtidig detonation av mer utspridda laddningar kan därför förväntas avvika från de värden som angetts ovan.

3 Konventionella vapen mot rullbanor

För fallet med konventionell vapenbekämpning av rullbanor till flygfält är det värdefullt att känna till radier hos såväl skadad markbeläggning som kraterdimensioner i termer av radier, djup och volymer. Framförallt bedöms det värdefullt (se t.ex. Westin 1973) att känna till dimensioner hos verklig krater. Redovisningen och föreslagna samband baserar sig på jämförelser med beräknade värden enligt CONWEP (1992), samt praktiska försök som beskrivs av Kvammen et al. (1972) och dessutom vad gäller kratervolymen på arbete presenterat av Westin (1973). Vid försöken som redovisas av Kvammen et al. användes olika laddningstyper, dels höljeslösa laddningar av C-4 på mellan ca 2 och 11 kg och dels riktiga bomber (MK-81, MK-82 och M-117) med antingen hexotol (comp B) eller tritonal. Vid jämförelsen har laddningsvikter räknats om till ekvivalent trotylvikt baserat på värden för energiinnehåll enligt Baker, Cox, Westine, Kulesz och Strehlow 1983 (Tabell 1).

Tabell 1. Energiinnehåll för olika explosivämnen och ekvivalent trotylvikt

Explosivämne	Energiinnehåll (kJ/kg)	Ekvivalensfaktor
Trotyl	4520	1
C-4	4870	1,08
Tritonal	7410	1,64
Hexotol (Comp B)	5190	1,15

3.1 Kraterradier

I Figur 3 redovisas beräknade och experimentella resultat av kraterradier. Programmet CONWEP (1992) har använts för att beräkna och jämföra kraterradier också för fallet med mark (torr sand) utan beläggning. Det som redovisas är radier för på markytan synlig krater. För belagd mark sammanfaller radien för synlig och verklig krater med varandra, förutom vid fallet "camouflet mode" vilket närmare redovisas i avsnitt 3.5. För fallet med belagd mark har beräknats radier för såväl betongbeläggning på torr till fuktig sand som asfaltbeläggning på samma material. Vid de försöksserier som beskrivs av Kvammen et al. genomfördes försöken på äldre flygfält med betongbeläggning. Betongtjockleken varierade i olika försöksomgångar mellan 18 och 28 cm. Bestämningen av kraterradien gjordes genom beräkning baserad på volymen av betongmaterialet i kratern (kvadratroten ur kvoten mellan betongvolymen inom kratern och betongtjockleken multiplicerad med π). Jämförelse har också gjorts med en formel ur TM 5-855-1 som gäller för icke belagd mark med olika egenskaper. I figuren anges även resultat enligt Westin (1973) som baseras på analys av resultaten enligt Kvammen et al.

Bland annat kan noteras att:

Beräkningarna enligt CONWEP ger ingen skillnad i skalad kraterradie (radie i meter dividerat med tredje roten ur laddningsvikten) för små laddningar (10 kg) och för stora laddningar (100 kg) förutsatt att skalat laddningsdjup (djup i meter dividerat med tredje roten ur laddningsvikten) är densamma.

Beräkningar med CONWEP ger relativt stor skillnad på kraterradier vid asfaltbeläggning jämfört med betongbeläggning. Vid jämförelse mellan beräknade kraterradier enligt CONWEP och försöksresultaten kan man emellertid förvånansvärt märka en något bättre överensstämmelse med beräkningar som gäller asfaltbeläggning trots att experimenten genomfördes på fält med betongbeläggning.

De experimentella resultaten har ganska stor spridning men det är inga påtagliga skillnader mellan olika laddningsvikter, beläggningstjocklekar och höjlösösa laddningar jämfört med flygbomber.

En anpassning av ett polynom har gjorts till samtliga försöksresultat. Enligt detta kan skalad (verklig) kraterradie beräknas som:

$$R_l/M^{1/3} = 0,8824(d/M^{1/3})^3 - 3,1177(d/M^{1/3})^2 + 2,6134(d/M^{1/3}) + 0,3327 \quad (\text{Ekv. 5})$$

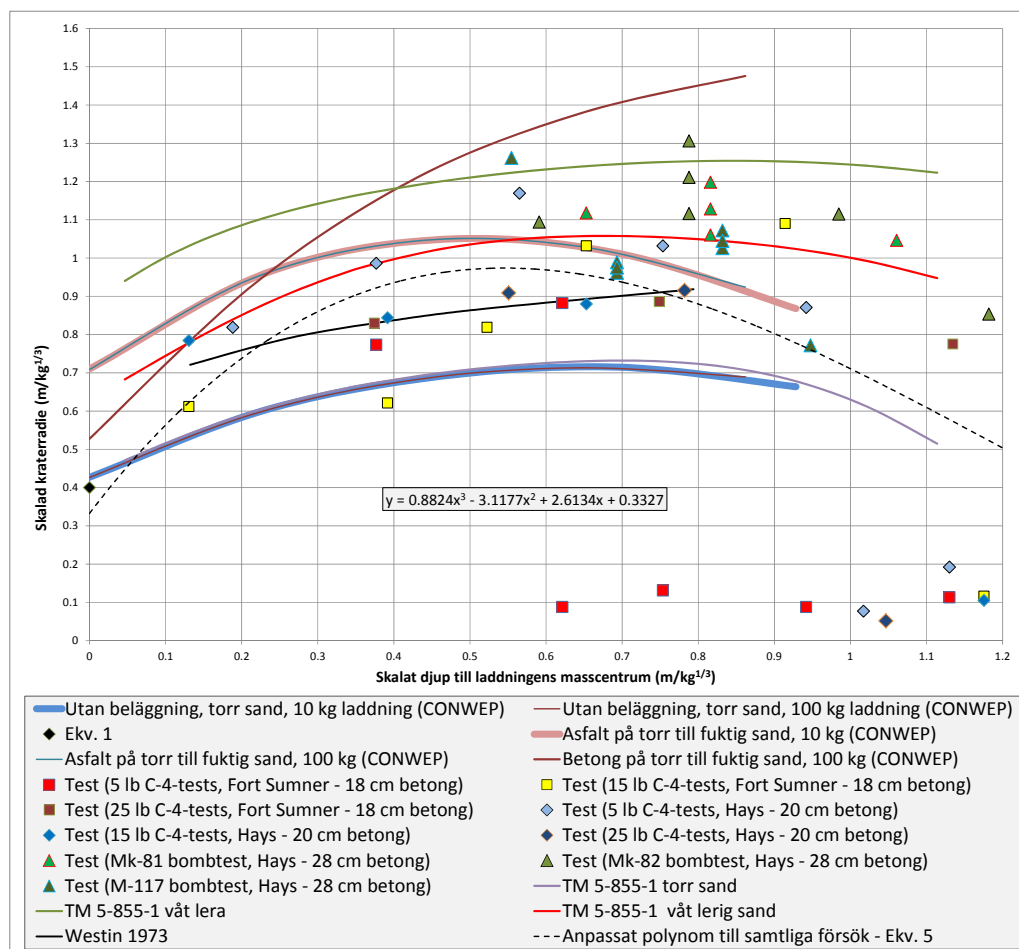
där

R_l = verklig kraterradie (m)

M = explosivämnets massa (beräknad ekvivalent trotylmasa) (kg)

d = laddningscentrums djup under markytan (m)

Även om den angivna formeln inte baseras på försök med asfaltbeläggningar föreslås den gälla även för detta fall. Det bör noteras att det finns ett antal experimentella värden med relativt stort skalat laddningsdjup som resulterat i relativt små skalade kraterradier. Detta kan förväntas bero på att man närmar sig gränsen för en principiellt annan typ av krater, "camouflet mode", vilket inte fångas korrekt av den föreslagna formeln. Mer om kraterdimensioner vid "camouflet mode" redovisas som nämnts tidigare i avsnitt 3.5.



Figur 3. Skalade kraterradier för mark med beläggning som funktion av skalade laddningsdjup. Jämförelse görs även med beräknade kraterradier utan beläggning. Data om tester är hämtade från Kvammen et al. 1972.

3.2 Kraterdjup

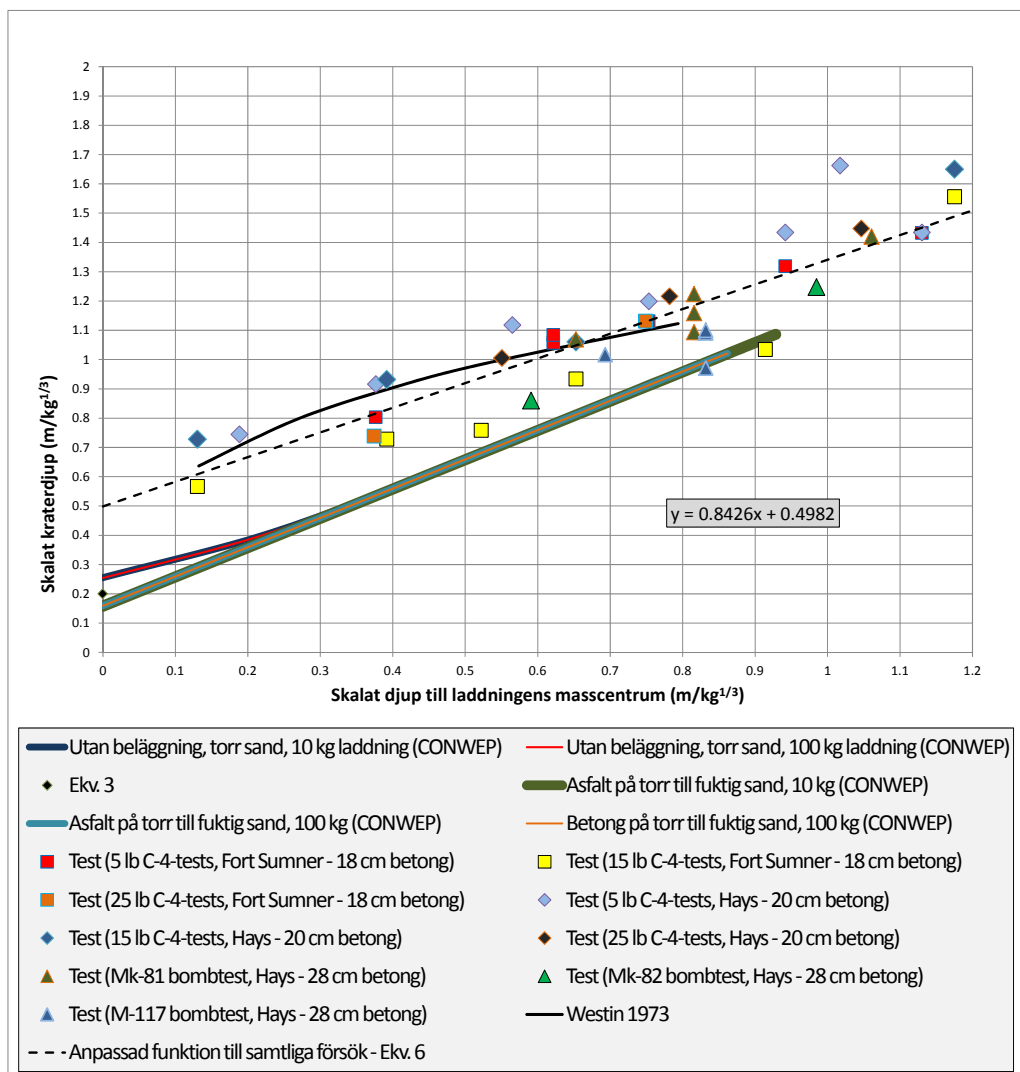
På samma sätt som ovan för kraterradier har beräknade värden för kraterdjup enligt CONWEP jämförts med experimentella värden från Kvammen et al. och värden som anges av Westin (1973). I Figur 4 redovisas beräknade och experimentella resultat av kraterdjup. Programmet CONWEP (1992) har använts för att beräkna och jämföra kraterdjup också för fallet med mark (torr sand) utan beläggning. För fallet med belagd mark har kraterdjup beräknats för såväl betongbeläggning på torr till fuktig sand som asfaltbeläggning på samma material.

Bland annat kan noteras att:

Beräkningarna enligt CONWEP ger ingen skillnad i skalat kraterdjup (djup i meter dividerat med tredje roten ur laddningsvikten) för små laddningar (10 kg) och för stora laddningar (100 kg) förutsatt att skalat laddningsdjup (djup i meter dividerat med tredje roten ur laddningsvikten) är densamma.

Beräkningar med CONWEP ger relativt stor skillnad på kraterdjup vid asfaltbeläggning jämfört med betongbeläggning. Vid jämförelse mellan beräknade kraterdjup enligt CONWEP och försöksresultaten kan man emellertid förvånansvärt märka en något bättre överensstämmelse med beräkningar som gäller asfaltbeläggning trots att experimenten genomfördes på fält med betongbeläggning.

För de experimentella resultaten finns inga påtagliga skillnader mellan olika laddningsvikter, beläggningstjocklekar och höljeslösa laddningar jämfört med flygbomber.



Figur 4. Skalade kraterdjup (verkliga) vid mark med beläggning som funktion av skalade laddningsdjup. Jämförelse görs även med beräknade kraterdjup utan beläggning. Data om tester är hämtade från Kvammen et al. 1972.

En anpassning av en funktion har gjorts till samtliga försöksresultat. Enligt detta kan skalat (verkligt) kraterdjup beräknas som:

$$D/M^{1/3} = 0,8426(d/M^{1/3}) + 0,4982 \quad (\text{Ekv. 6})$$

där

D = kraterdjup (verkligt) (m)

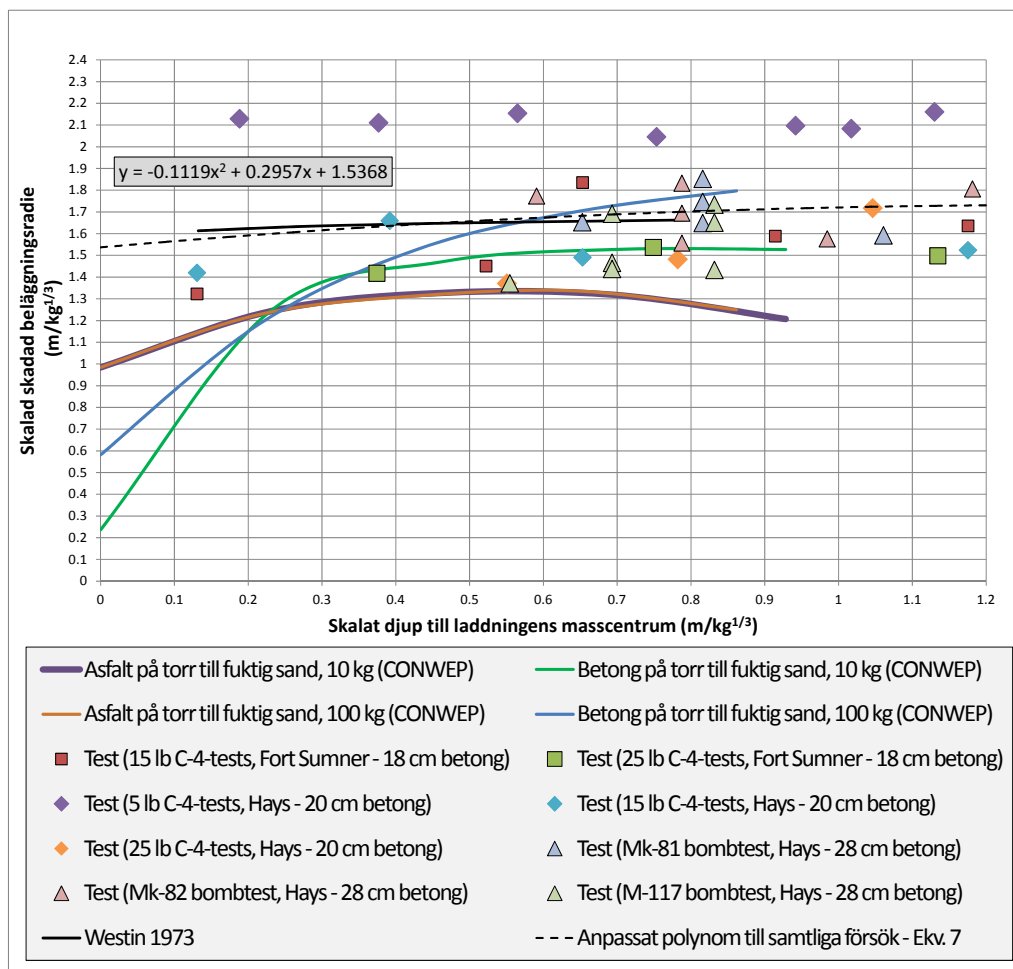
M = explosivämnets massa (beräknad ekvivalent trotylmassa) (kg)

d = laddningscentrums djup under markytan (m)

Även om den angivna formeln inte baseras på försök med asfaltbeläggningar föreslås den gälla även för detta fall.

3.3 Radier för skadad beläggning

CONWEP anger även radier på skadad beläggning för såväl asfalt som betong. Beräknade värden för beläggning på torr till fuktig sand har jämförts med experimentella värden enligt Kvammen et al. samt värden som anges av Westin (1973). För de experimentella värdena kan noteras att försöken med den minsta laddningsvikten (5 lb) ger jämförelsevis stora skalade radier på skadad beläggning. Några tydliga skillnader i övrigt mellan olika laddningsvikter och höljeslösa laddningar jämfört med höljesladdningar kan inte noteras. Beräknade värden enligt CONWEP ger resultat i samma storleksordning som experimenten förutom för små skalade laddningsdjup.



Figur 5. Skalade skadade belägningsradier som funktion av skalade laddningsdjup. Data om tester är hämtade från Kvammen et al. 1972.

En anpassning av ett polynom har gjorts till samtliga försöksresultat. Enligt detta kan skalad skadad belägningsradie beräknas som:

$$R_2/M^{1/3} = -0,1119(d/M^{1/3})^2 + 0,2957(d/M^{1/3}) + 1,5368 \quad (\text{Ekv. 7})$$

där

R_2 = radie av skadad beläggning (m)

M = explosivämnets massa (beräknad ekvivalent trotylmasa) (kg)

d = laddningscentrums djup under markytan (m)

I avsaknad av experimentella resultat för asfaltbeläggningar och baserat på att beräknade värden enligt CONWEP för asfalt- och betongbeläggningar är i samma storleksordning föreslås formeln gälla för både asfalt- och betongbeläggningar.

3.4 Kratervolymer

Westin (1973) har analyserat experimenten enligt Kvammen et al. och beskrivit samband för kratervolymer.

$$V = [d \cdot 1,086 \cdot ((M^{1/3})/d)^{0,8227}]^{1/3} \quad (\text{Ekv. 8})$$

där

V = kratervolym (verklig) inklusive volym av beläggning (m^3)

M = explosivämnets massa (beräknad ekvivalent trotylmasa) (kg)

d = laddningscentrums djup under markytan (m)

3.5 Dimensioner för "camouflet mode"-krater

Föregående avsnitt gäller för "cratering mode" (vilket innebär att kratern är synlig på ytan). För djup laddningsplacering syns inte kratern från ytan – detta benämns "camouflet mode". Gränsen mellan moderna kan enligt Westin bestämmas med följande samband:

$$2,0 + \log((W^{1/4})/d) = 1,3981 \cdot [2,0 + \log((W^{1/3})/d) \cdot \tanh^5[2,0 + \log(W^{1/3})/d]] \quad (\text{Ekv. 9})$$

där

W = explosivämnets massa (beräknad ekvivalent massa C4) (lb)

d = laddningscentrums djup under markytan (ft)

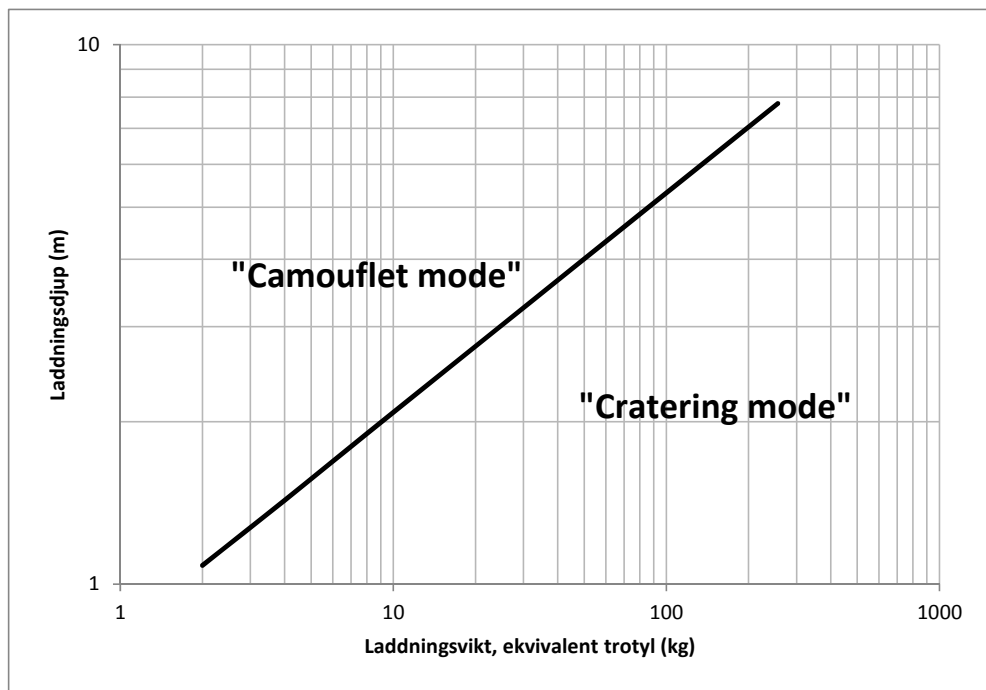
Westin baserar alltså sitt samband (Ekv. 9) på försök med C4. I Tabell 2 och i Figur 6 visas sambandet omräknat för laddning av trotyl och SI-enheter.

Tabell 2. Samband mellan laddningsvikt (kg trotyl) och laddningsdjup som ligger på gränsen mellan öppen krater, "cratering mode", och "camouflet mode" (ej synlig krater).

Laddningsvikt (kg)	Gränsdjup (m)	Skalat djup ($\text{m/kg}^{1/3}$)
2	1,08	0,86
4	1,43	0,90
8	1,90	0,95
16	2,52	1,0
32	3,34	1,1
64	4,43	1,1
128	5,87	1,2
256	7,78	1,2

I de fall vänsterledet i ekvationen är större än högerledet innebär det att "camouflet mode" förväntas och i annat fall att öppen krater, "cratering mode", förväntas.

I nedanstående figur redovisas gränsen mellan kratermoderna (omräknat till meter och kg trotyl).



Figur 6. Gräns mellan öppen krater ("cratering mode") och "camouflet mode" (ej synlig krater).

Vid "camouflet mode" blir kraterdiametern (under ytan) enligt Westin:

$$R_3 = d \cdot 0,456 \cdot (M^{7/24} / d)^{0,8548} \quad (\text{Ekv. 10})$$

där

R_3 = kraterdiameter under ytan (m)

M = explosivämnets massa (beräknad ekvivalent trotylmassa) (kg)

d = laddningscentrums djup under markytan (m)

Kraterdjupet kan beräknas som:

$$D = d \cdot 1,469 \cdot (M^{7/24} / d)^{0,4324} \quad (\text{Ekv. 11})$$

där

D = kraterdjupet (m)

M = explosivämnets massa (beräknad ekvivalent trotylmassa) (kg)

d = laddningscentrums djup under markytan (m)

Kratervolymen kan beräknas som:

$$V = (d \cdot 0,736 \cdot (M^{7/24} / d)^{0,8648})^3 \quad (\text{Ekv. 12})$$

där

V = kraternvolymen (m^3)

M = explosivämnets massa (beräknad ekvivalent trotylmassa) (kg)

d = laddningscentrums djup under markytan (m)

Westin anger även en formel för radien av uppsprucken beläggningsarea för ”camouflet mode”:

$$R_2 = d \cdot 1,851 \cdot (M^{7/24}/d)^{1,27} \quad (\text{Ekv. 13})$$

där

R_2 = Radie av skadad beläggning (m)

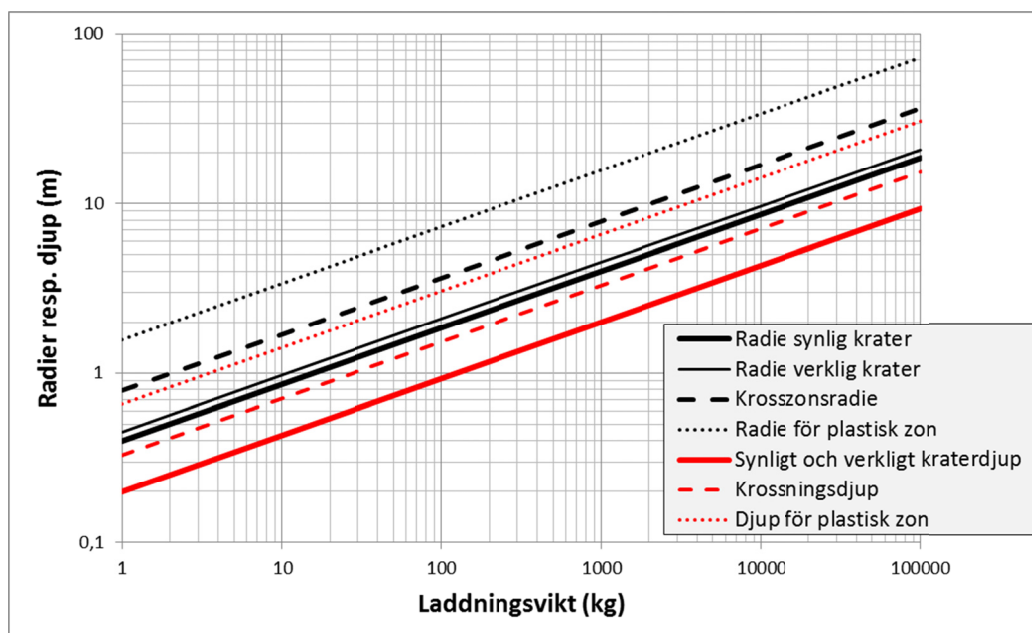
M = explosivämnets massa (beräknad ekvivalent trotylmassa) (kg)

d = laddningscentrums djup under markytan (m)

4 Sammanfattning

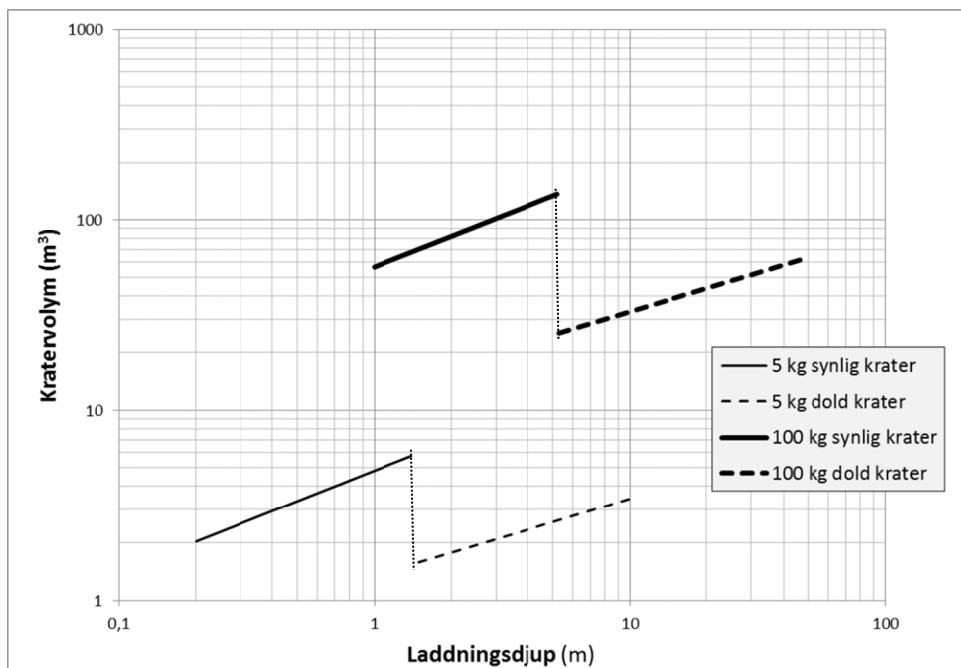
Baserat på litteraturuppgifter om experiment och beräkningar har enkla samband tagits fram för beräkning av dels kraterdimensioner för laddningar på marken och dels kraterdimensioner och radier för skadad beläggning för laddningar under mark.

I Figur 7 redovisas ett antal dimensioner för fallet laddning på markmaterialet torr sand utan beläggning.



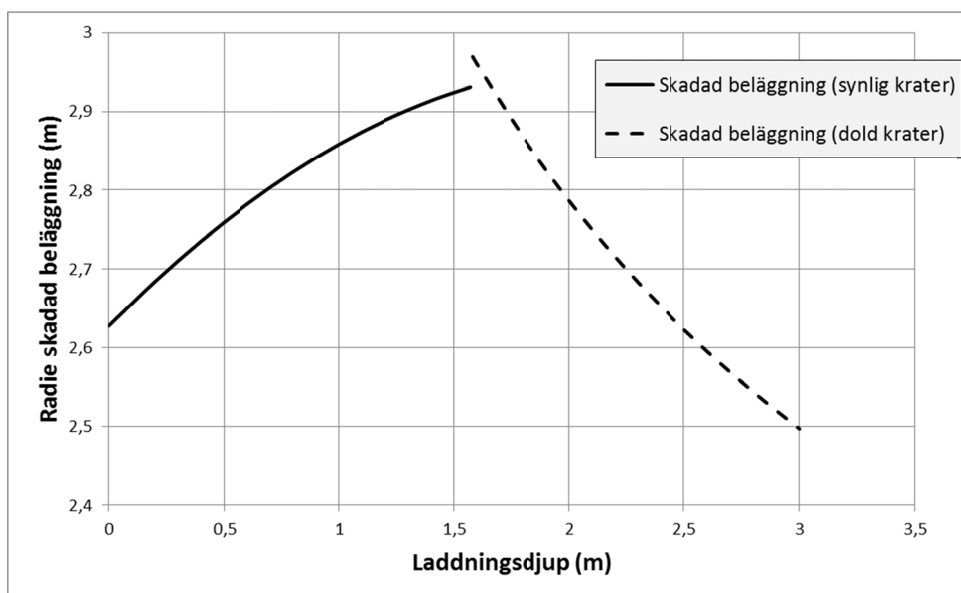
Figur 7. Dimensioner av kratrar vid detonation på mark, för markmaterial torr sand.

I Figur 8 redovisas kratervolymer för två olika laddningsstorlekar (5 och 100 kg) för fallet laddning under mark med beläggning. Här kan noteras att kurvorna som redovisas har en diskontinuitet som skiljer de båda moderna "cratering mode" (öppen synlig krater) och "camouflé mode" (icke synlig krater).



Figur 8. Kratervolymer (verklig) för 5 resp. 100 kg laddning vid detonation på olika djup i belagd mark.

I Figur 9 redovisas radier hos skadad beläggning vid detonation av exemplet 5 kg laddningsvikt (trotyl) under mark. Även här märks en diskontinuitet för kurvan beroende på olika moder på samma sätt som för kratervolymer.



Figur 9. Radie hos skadad beläggning vid detonation av 5 kg laddning på olika djup.

De samband som presenteras avses ge en rimlig uppfattning om skadornas utbredning. Om det visar sig att ytterligare experimentella data eller resultat av numeriska simuleringar blir tillgängliga är det angeläget att göra jämförelser med de samband som presenteras här och överväga justeringar och eventuellt differentieringar t.ex. med hänsyn till beläggningstyp.

5 Referenser

Baker, W.E., Cox, P.A., Westine, P.S., Kulesz, J.J. and Strehlow, R.A. 1983. Explosion Hazards and Evaluation. Elsevier, Amsterdam.

Basler & Hofman 1984. Grösse und auswurfmassen von kratern in lockergestein bei oberflächendetonationen. Basler & Partner, Zurich Switzerland.

CONWEP 1992. PC-Program based on TM 5-855-1 /FUNDAMENTALS OF PROTECTIVE DESIGN / Edition 1991, D. W. Hyde, USAWESCoE /Department of the Army, Washington DC, USA.

Drake, J.L., Twisdale, R.A. Frank, W.C., Dass, C.E. 1989. Protective construction design manual. ESL-TR-87-57 Final Report, AFESC, Engineering & Services Laboratory, Tybdall AFB, FL, USA.

FortH1 1991. Fortifikationshandbok del 1. Överbefälhavaren, Operationsavdelningen, Stockholm. Forsvarets bok- och blankettförråd.

Fortifikationshåndbok 1990. Del 1 – Våpenverknninger. Forsvarets Byggningsstjeneste, Direktoratet for sivilt beredskap.

Geoplosics 1979. Nuclear Geoplosics Sourcebook. Volume IV, Part II, Empirical Analysis of Nuclear and High Explosive Cratering and Ejecta. General Electric Company – TEMPO, DASIAC, Santa Barbara, Kalifornien, USA.

Holsapple och Housen 2003. Crater Database and Scaling Tools. Hämtad 2014-06-04. <http://keith.aa.washington.edu/craterdata/#top>.

Kvammen, A., Pichumani, R. Dick, J.I. 1972. Pavement Cratering Studies. AFWL-TR-72-61. Air Force Weapons Laboratory, Kirtland Air Force Base, New Mexico, USA.

Lee, C.K.B. and Mazzola, T. A. 1989. Ejecta Scaling for Craters in Dry Alluvial sites, JGR 95 pp17595-17605.

TM 5-855-1, 1986. Fundamentals of protective design. USAWES/Coe. U.S. Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, USA.

TM 5-855-1, 1989. Fundamentals of protective design. Edition 1991, PC-Program Hyde, David, W. USAWESCoE /Department of the Army, Washington DC, USA.

Westin, P.S. 1973. Bomb crater damage to runways. Air Force Weapons Laboratory, AFWL-TR-72-183.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se