

# Bullet Impact on Steel and Kevlar® /Steel Armor – Computer Modeling and Experimental Data\*

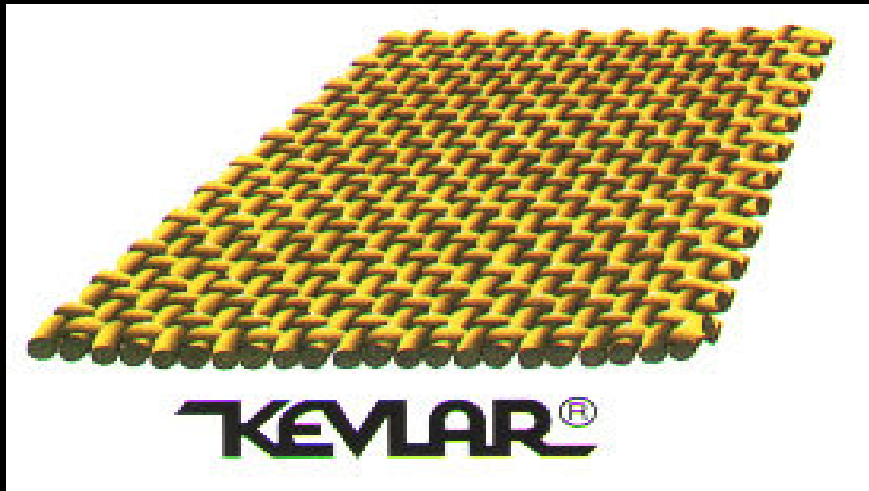
ร่องรอยการปะทะของลูกกระสุนปืนบนเกราะเหล็ก  
และเกราะผสมระหว่างเส้นใยเคปลาร์กับเหล็ก  
โดยวิธีสร้างรูปแบบการจำลองทางคอมพิวเตอร์  
และข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ผู้ให้สัมมนา ร.ต.ท.หญิงเบญจ พุฒินิล รหัส 52312317

# ความเป็นมาและความสำคัญของเนื้อหา

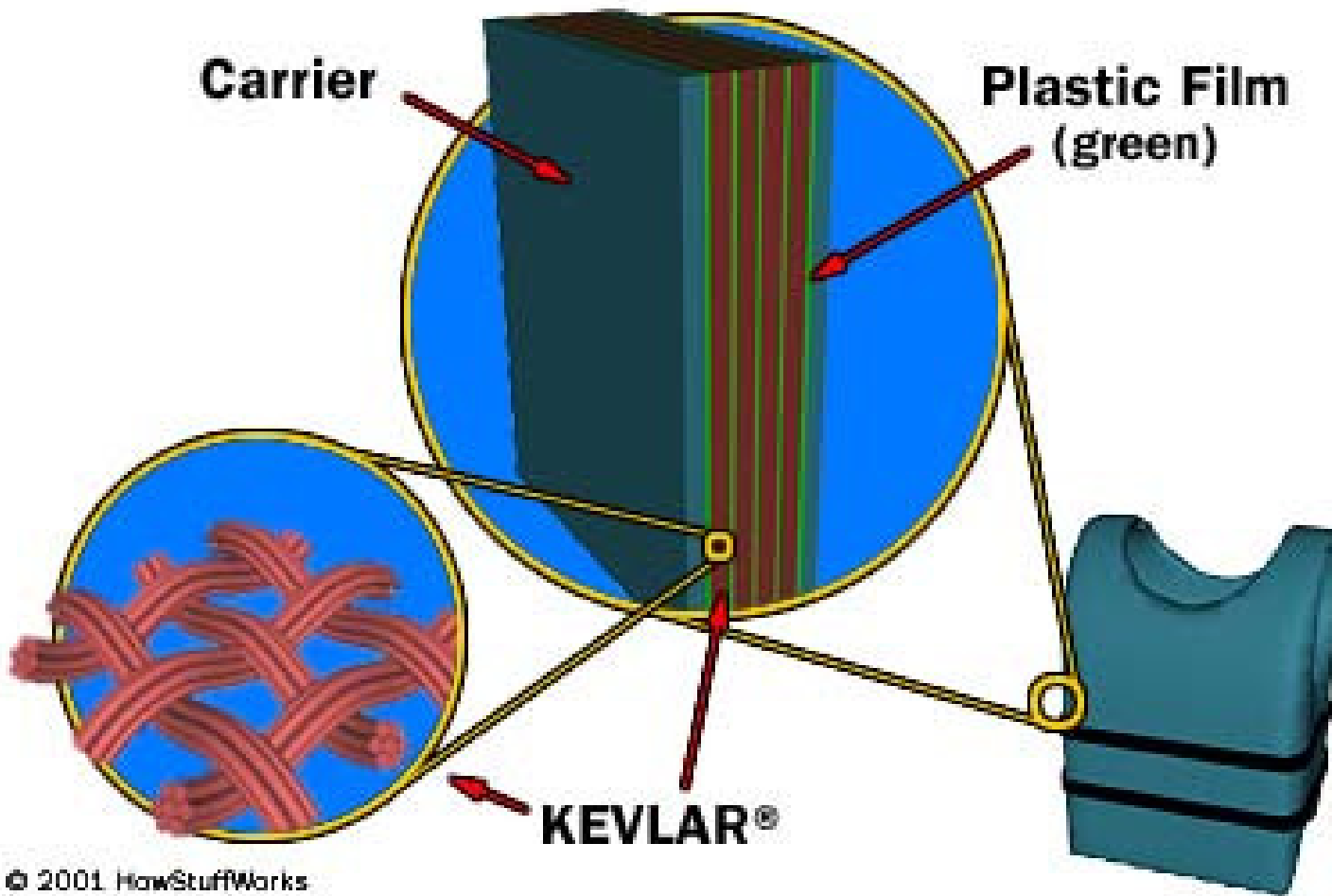
- ▶ การวิเคราะห์การเข้าปะทะและการออกแบบเกราะโดยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาในอดีตมักจะออกแบบมาเพื่อป้องกันกระสุนที่มีใช้ทางการทหารซึ่งได้แก่กระสุนที่มีหัวกระสุนแบบที่มีโลหะหุ้ม (**Steel jacket**) และกระสุนเจาะเกราะ และโดยส่วนมากการศึกษการผลิตเสื้อเกราะส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปในทางการป้องกันกระสุนที่ใช้ในปืนพกสั้น ในการวิจัยครั้งนี้จะมุ่งเน้นการใช้กระสุนปืนไรเฟิลชนิดที่มีแรงขับสูง (**high powered**) บนเกราะเหล็กและเกราะเคปลาร์ เนื่องจากเป็นกระสุนที่ได้รับความนิยมในการใช้ในเกมส์การล่าสัตว์ในอเมริกาเหนือ





ภาพเสื้อเกราะกันกระสุน (Body armor)

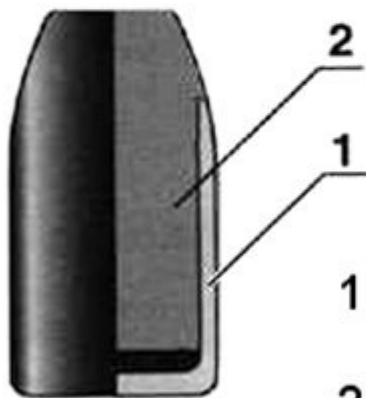
# How Body Armor Works



ภาพเสื้อเกราะกันกระสุน (Body armor)

## Modern handgun bullets.

### JSP - Jacketed Soft Point



1 - metal jacket

2 - lead core

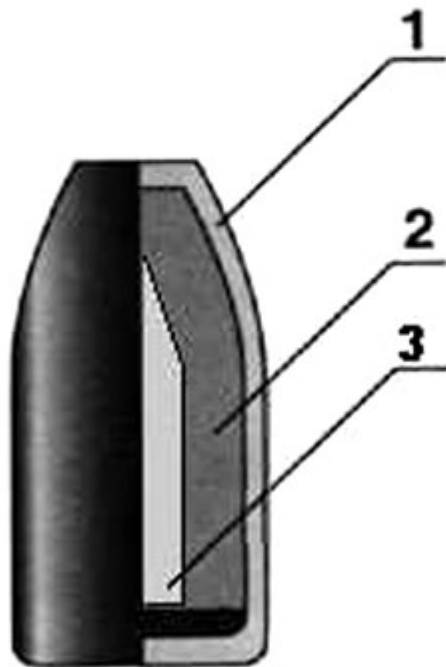


Semi-jacketed bullet with exposed lead at bullets' nose. Has bigger stopping power than FMJ

ภาพหัวกระสุนปืนแบบที่มีโลหะหุ้ม (Steel jacket bullet)

## Modern handgun bullets.

### AP - Armor Piercing



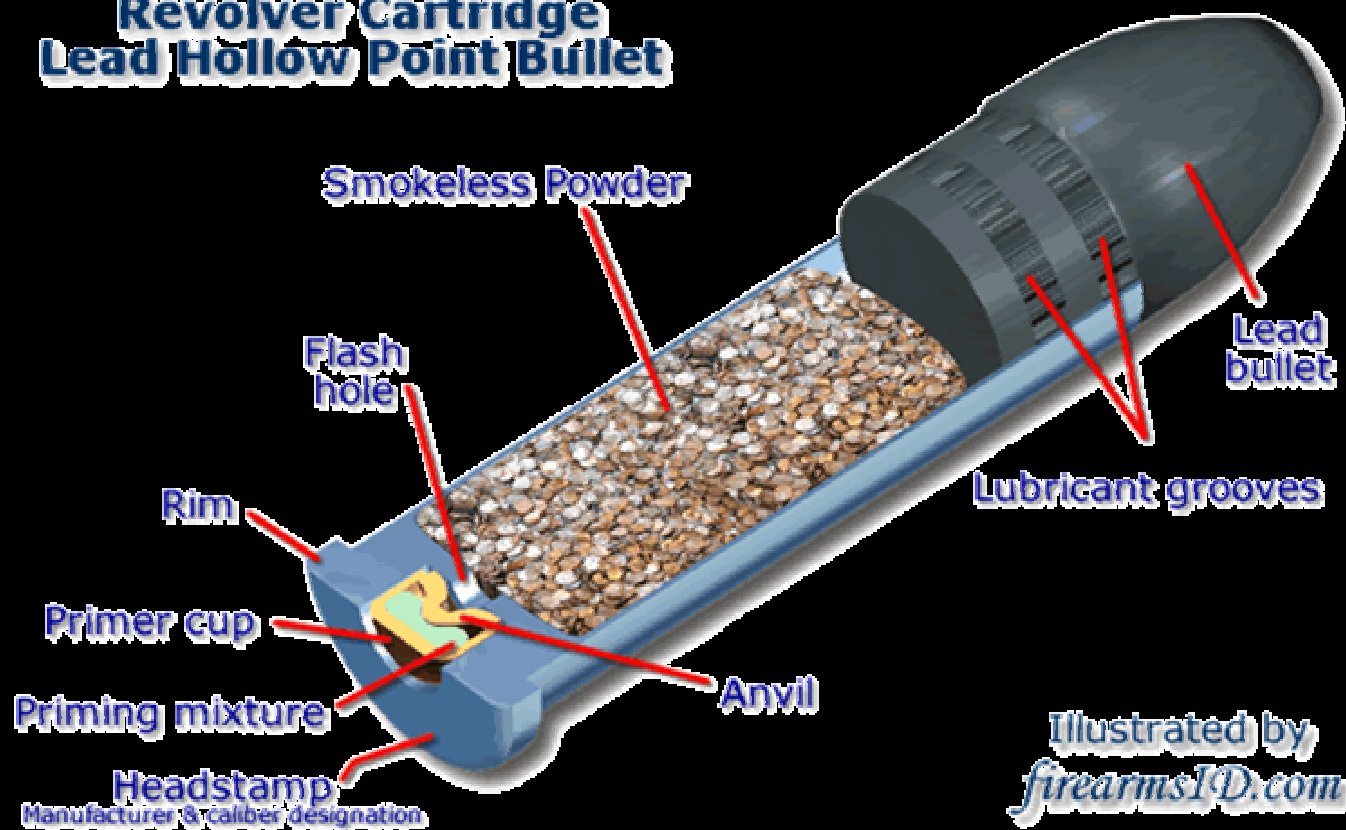
1 - metal jacket

2 - lead

3 - hardened steel core

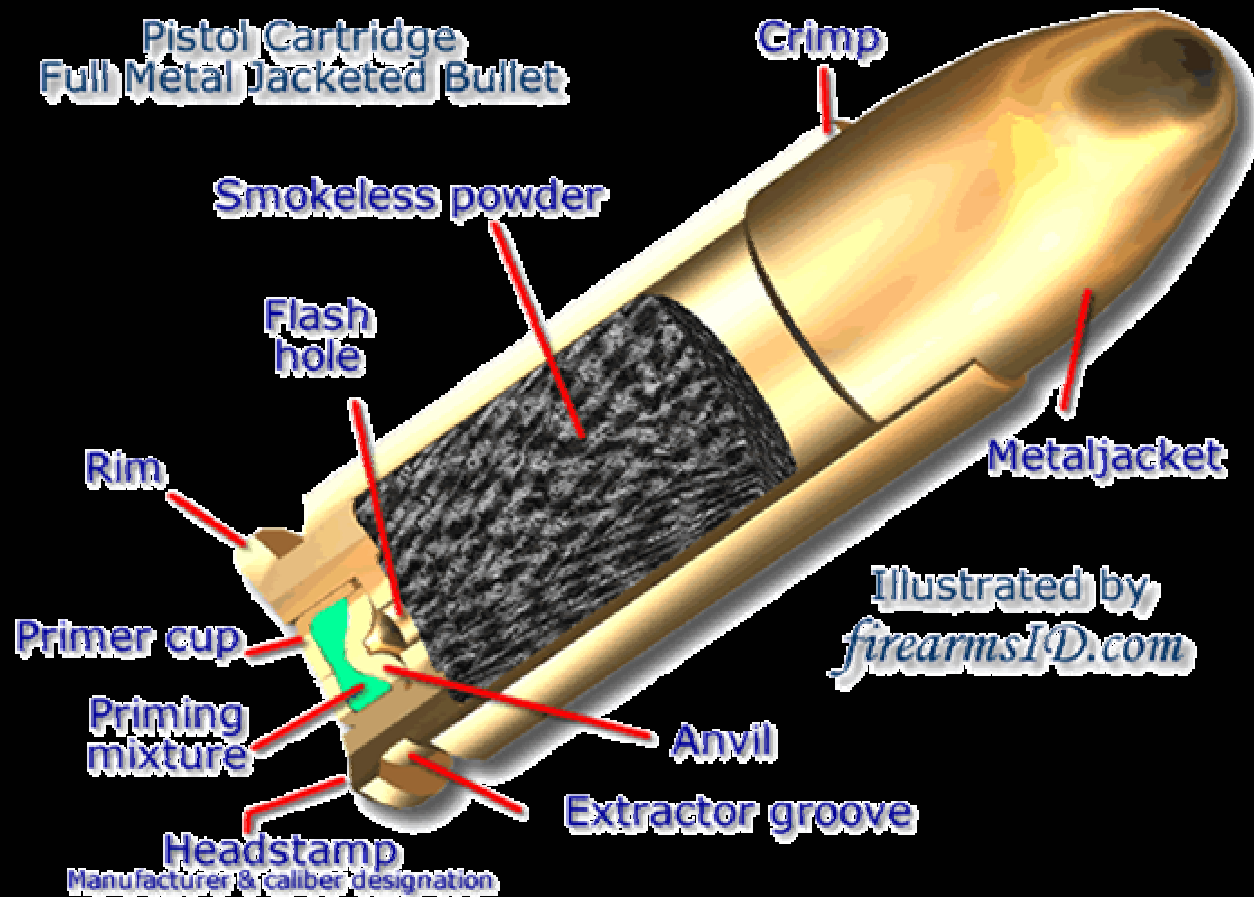
ภาพหัวกระสุนปืนเจาะเกราะ (Armor-piercing bullet)

## Revolver Cartridge Lead Hollow Point Bullet



กระสุนปืนที่ใช้กับปืนพกสั้นทั่วไป อาทิเช่น .38 Special

ลักษณะหัวกระสุนปืนที่นิยมใช้กับปืนพกสั้นทั่วไปในปัจจุบัน



กระสุนปืนที่ใช้กับปืนพกสั้นทั่วไป อาทิเช่น 9mm Ruger

ลักษณะหัวกระสุนปืนที่นิยมใช้กับปืนพกสั้นทั่วไปในปัจจุบัน



**Scientific name : 8.5 × 63.5 B**

**Ignition : center fire**

**Caliber type : Civilian and military caliber**

**Primer diameter : 5.33 mm**

**Data from Cartwin pro.**

**Velocity 2780 feet/sec. (842.16 m/s)**

**Bullet 225 grains SP(Soft pointed)**

**Data from Cartridges of the world.**



แสดงภาพกระสุนปืนไรเฟิลชนิดที่มีแรงขับเคลื่อนสูง (high powered) ซึ่งมีลักษณะหัวเป็นแบบ A-frame ออกแบบมาเพื่อทำลายเป้าหมายให้มีบาดแผลที่กว้างและลึก ถูกนำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ เนื่องจากเป็นกระสุนที่ได้รับความนิยมในการใช้ในเกมส์การล่าสัตว์ใหญ่ในอเมริกาเหนือ

ภาพกระสุนปืน .338 Winchester magnum



ภาพลักษณะหัวกระสุนปืนแบบ A-frame  
ขนาด .338 Winchester magnum

# วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการจำลองภาพการปะทะของหัวกระสุนปืนด้วยระบบคอมพิวเตอร์ไฮโดรโคด (Computer Hydrocode analyses) โปรแกรม AUTODYN กับ การทดลองจริงในห้องปฏิบัติการ
2. เพื่อเปรียบเทียบการจำลองภาพการปะทะของหัวกระสุนปืนกับการทดลองจริงในห้องปฏิบัติการ
3. เพื่อทดสอบความสามารถในการคาดคะเนผลของระบบคอมพิวเตอร์ไฮโดรโคด (Computer Hydrocode analyses)
4. เพื่อศึกษาหาความสามารถในการหยุดยั้งกระสุนปืนของเส้นใยเคปเลอร์เพื่อนำมาใช้ในการผลิตเกราะกันกระสุนต่อไป

## วัสดุ อุปกรณ์ ที่ใช้ในการวิจัย

1. AUTODYN computer code (Computer Hydrocode analyses).
2. Ruger M70 bolt action Rifle.
3. .338 Winchester magnum (A-frame bullet).
4. Mild Steel plate.
5. Kevlar<sup>®</sup> panel.
6. Digital Vernier.

## ▶ Computer Hydrocode

คือ ระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางฟิสิกส์ในเชิง 2 และ 3 มิติ รหัสคอมพิวเตอร์ในการจำลองรูปแบบความต้านทานของวัสดุที่นำมาทดสอบ และสร้างแบบจำลองพฤติกรรมของสิ่งต่างๆ โดยจะพิจารณาผลของทั้งแรงภายนอกและแรงภายในที่กระทำกับวัตถุที่มากกระทบ ซึ่งจะประมวลผลในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งแรงเหล่านี้มีค่าคงที่และใช้ค่าดังกล่าวมาปรับมิติของเนื้อที่ที่ถูกเข้ากระทบ แรงเหล่านี้จะถูกคำนวณและประมวลผลออกมาตามสมการ

AUTODYN computer code  
(Computer Hydrocode analyses)

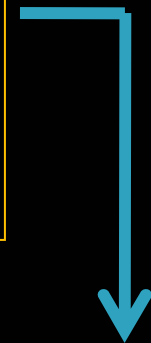
**Define the problem:**

Equation of state  
Constitutive model  
Boundary conditions  
Mesh geometry  
Eulerian or Lagrangian?  
Choose material properties



**Calculate the forces due to:**

External forces  
Pressure forces  
Constitutive model  
Boundary Conditions  
Artificial stability forces



Update the mesh by moving  
vertices of fluxing material  
between cells

Advance time



Is solution reached?

No



Yes



Stop

ลำดับขั้นตอนการทำงานของ AUTODYN computer code (Computer Hydrocode analyses)



Ruger M70  
bolt action  
Rifle



.338 Winchester magnum (A-frame bullet)



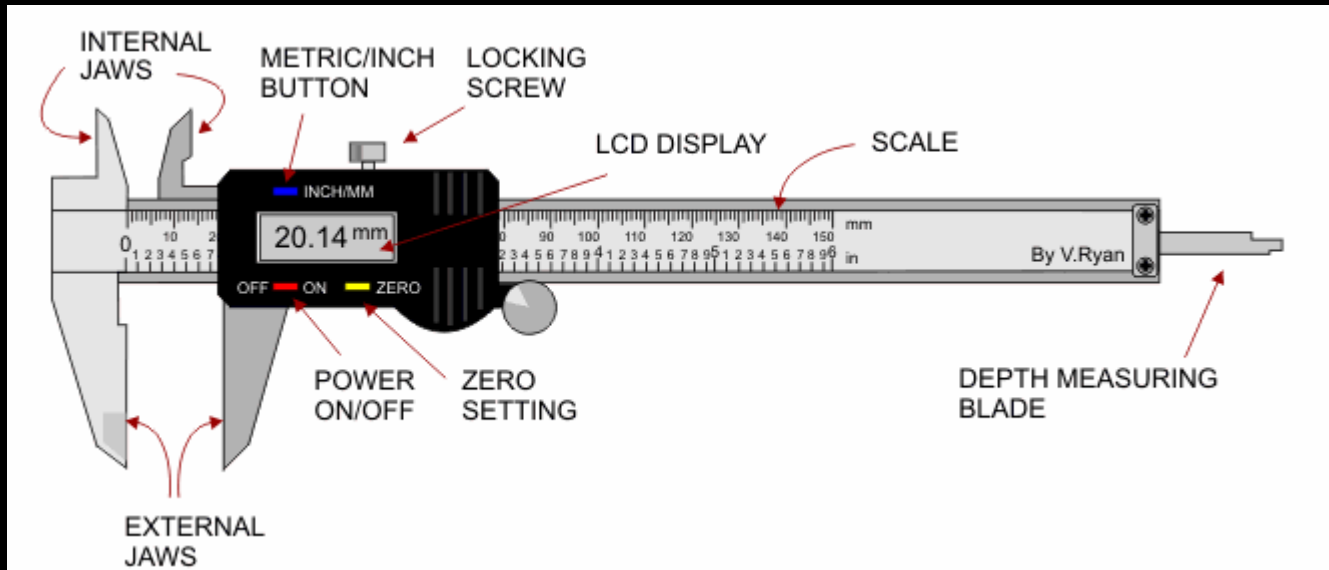
Mild Steel plate thickness 14.275 mm



Kevlar® panel thickness 20 mm



# Digital Vernier



# Material properties for Impact Simulations

## Lead

- ▶ Equation of State : Shock
- ▶ Reference Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) 11.35
- ▶ Gruneisen Coefficient : 2.77
- ▶ Parameter  $C_1$  (m/s) 2.051E03
- ▶ Parameter  $S_1$  : 1.46
- ▶ Strength Model : Von Mises
- ▶ Shear Modulus (KPa) 5.6E6
- ▶ Yield Strength (KPa) 5.0E3

# Material properties for Impact Simulations

## Copper

- ▶ Equation of State : Shock
- ▶ Reference Density ( $\text{g/cm}^3$ ) 8.93
- ▶ Gruneisen Coefficient : 1.99
- ▶ Parameter  $C_1$  (m/s) 3.94E03
- ▶ Parameter  $S_1$  : 1.489
- ▶ Strength Model : Von Mises
- ▶ Shear Modulus (KPa) 4.5E7
- ▶ Yield Strength (KPa) 7.0E4



## Kevlar

- ▶ Equation of State : Puff
- ▶ Reference Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) 1.29
- ▶ Parameter  $A_1$ (kPa) 8.21E06
- ▶ Parameter  $A_2$ (kPa) 7.036E07
- ▶ Parameter  $A_3$ (kPa) 0.0
- ▶ Gruneisen Coefficient : 0.35
- ▶ Expansion Coefficient : 0.25
- ▶ Sublimation Energy ( $\text{J}/\text{Kg}$ ) : 8.23E06
- ▶ Parameter  $T_1$ (kPa) 0.0
- ▶ Parameter  $T_2$ (kPa) 0.0
- ▶ Reference Temp (K) 0.0
- ▶ Specific Heat (C.V.) ( $\text{J}/\text{kgK}$ ) 0.0
- ▶ Strength Model Von Mises
- ▶ Shear Modulus 3.0E7
- ▶ Yield Strength 3.0E5
- ▶ Tensile Strength -2.6E5

# Steel

- ▶ Equation of State : Shock
- ▶ Strength Model Johnson–Cook
- ▶ Reference Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) 7.896
- ▶ Gruneisen Coefficient 2.17
- ▶ Parameter  $C_1$  (m/s) 4.569E03
- ▶ Parameter  $S_1$  : 1.49
- ▶ Reference Temperature (K) : 300
- ▶ Shear Modulus (kPa) : 8.18E07
- ▶ Yield Stress (kPa) : 5.17106E05
- ▶ Hardening Constant (kPa) : 2.75E05
- ▶ Hardening Exponent : 0.36
- ▶ Strain Rate Constant : 0.022
- ▶ Thermal Softening Exponent : 1.0
- ▶ Melting Temperature (K) 1.811E03

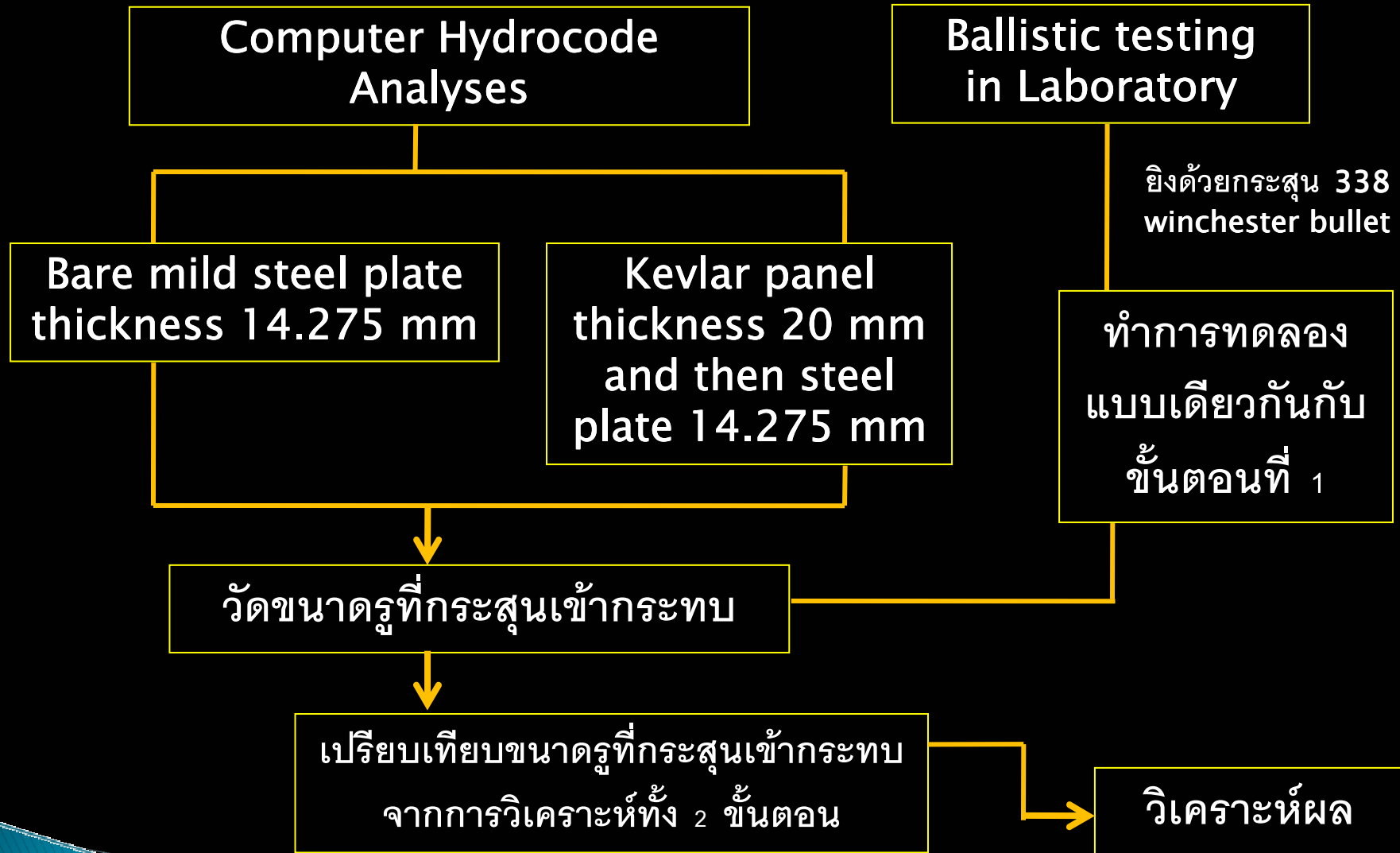
## วิธีการทดลอง

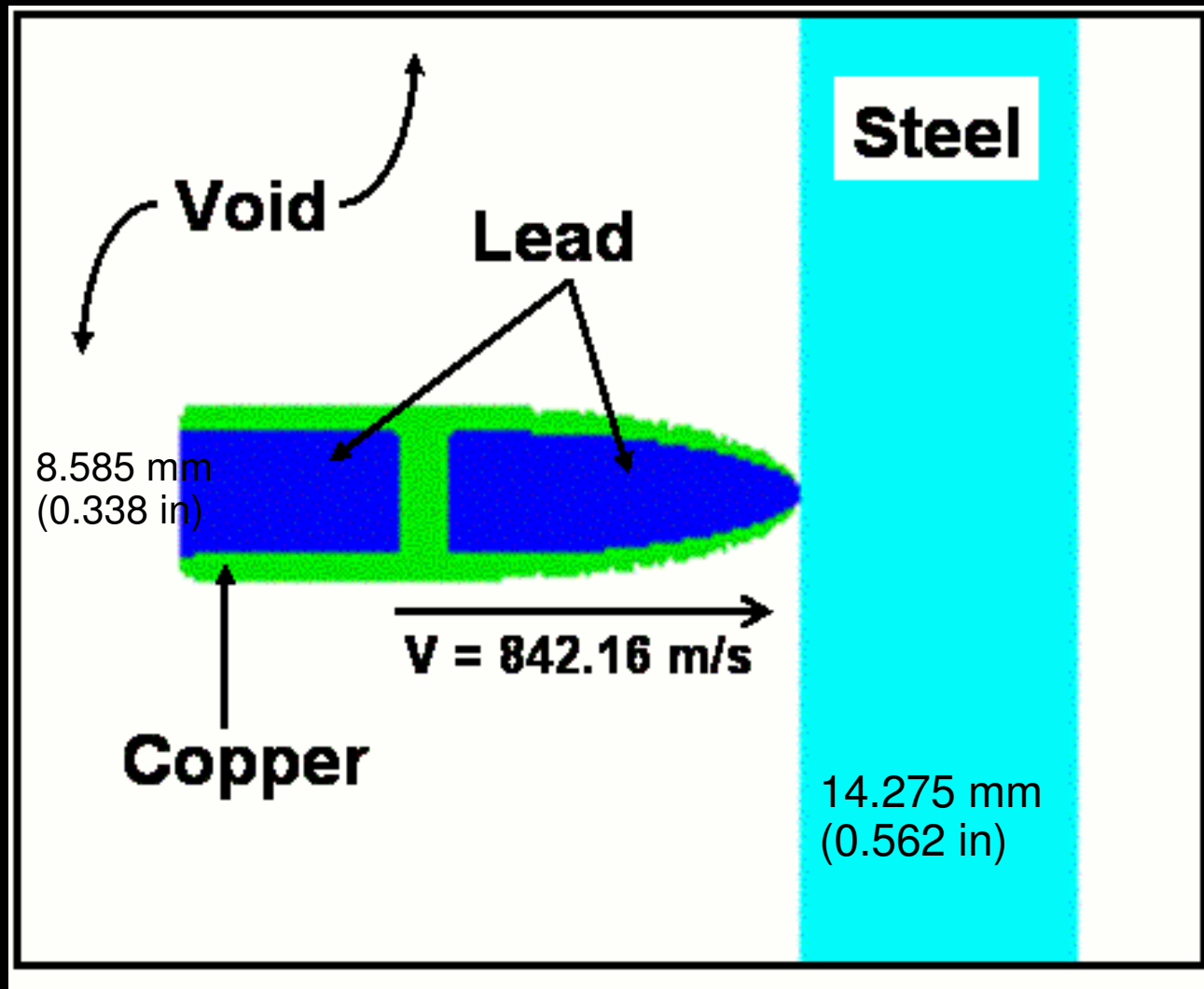
- ▶ **ขั้นตอนที่ 1** เป็นการใช้ระบบ **Computer hygrocode** ในการคาดคะเนผลที่ได้ ออกแบบศึกษาใน 2 กรณี
    - กรณีที่ 1 การคาดคะเนเมื่อหัวกระสุนเข้ากระทบแผ่นเหล็กโดยตรง
    - กรณีที่ 2 การคาดคะเนเมื่อหัวกระสุนเข้ากระทบกับแผ่นเคปเลอร์ก่อนแล้ว จึงเข้ากระทบกับแผ่นเหล็กที่วางถัดต่อจากแผ่นเคปเลอร์

**\*\*ทำการวัดมิติรูที่ถูกระสุนเข้ากระทบ จดบันทึกไว้\*\***
  - ▶ **ขั้นตอนที่ 2** เป็นการลงมือปฏิบัติจริงในห้องปฏิบัติการชีปนวิธีที่ **Sandia National Laboratories**. โดยทำการทดลองจริงทั้ง 2 กรณีที่ได้กล่าวไว้ในขั้นตอนที่ 1
    - \*\*ทำการวัดมิติรูที่ถูกระสุนเข้ากระทบ จดบันทึกไว้\*\***
- ▶ เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 ขั้นตอน แล้ววิเคราะห์ผล, สรุปผลการทดลอง



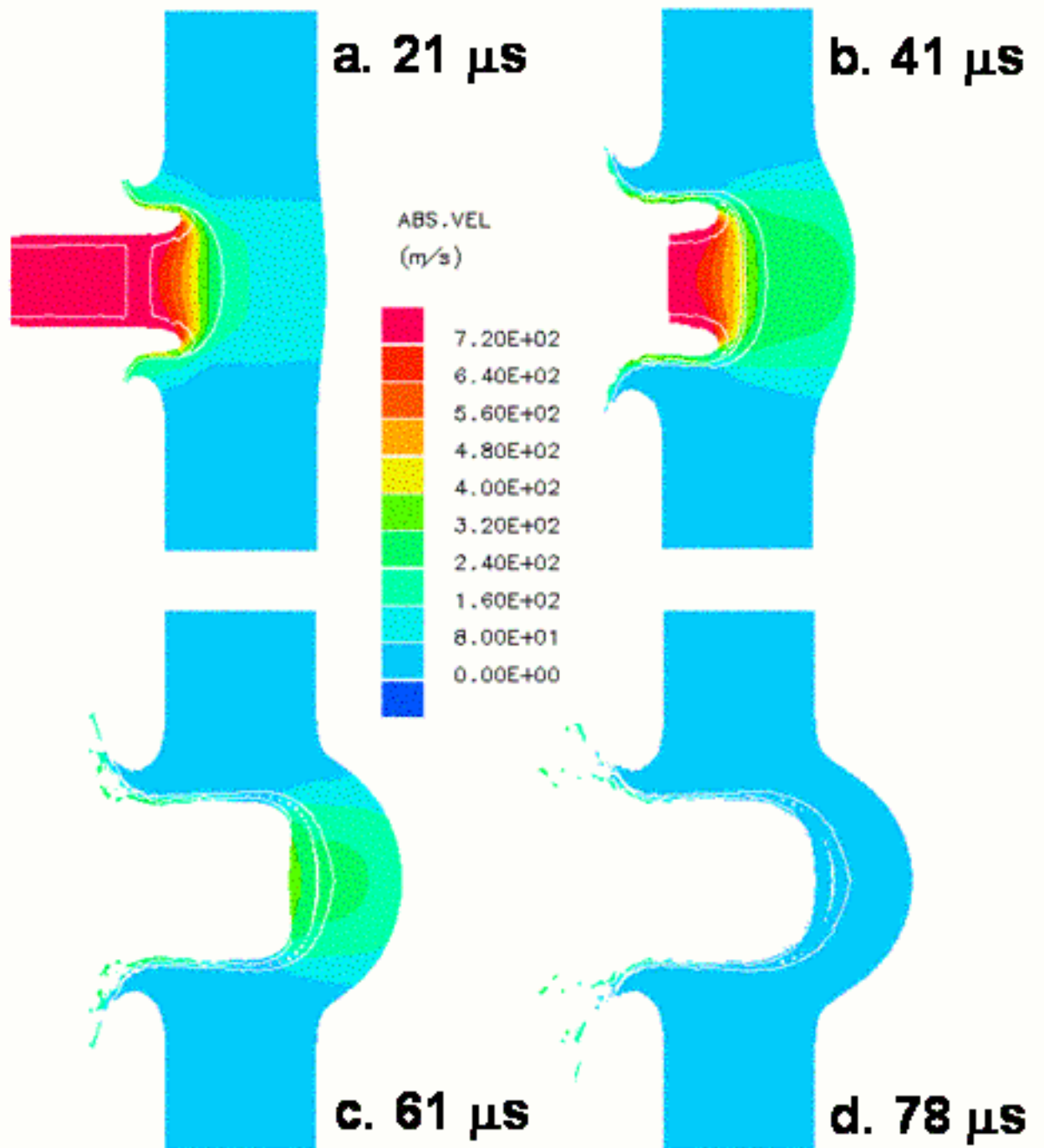
# ผังแสดงวิธีการวิจัย



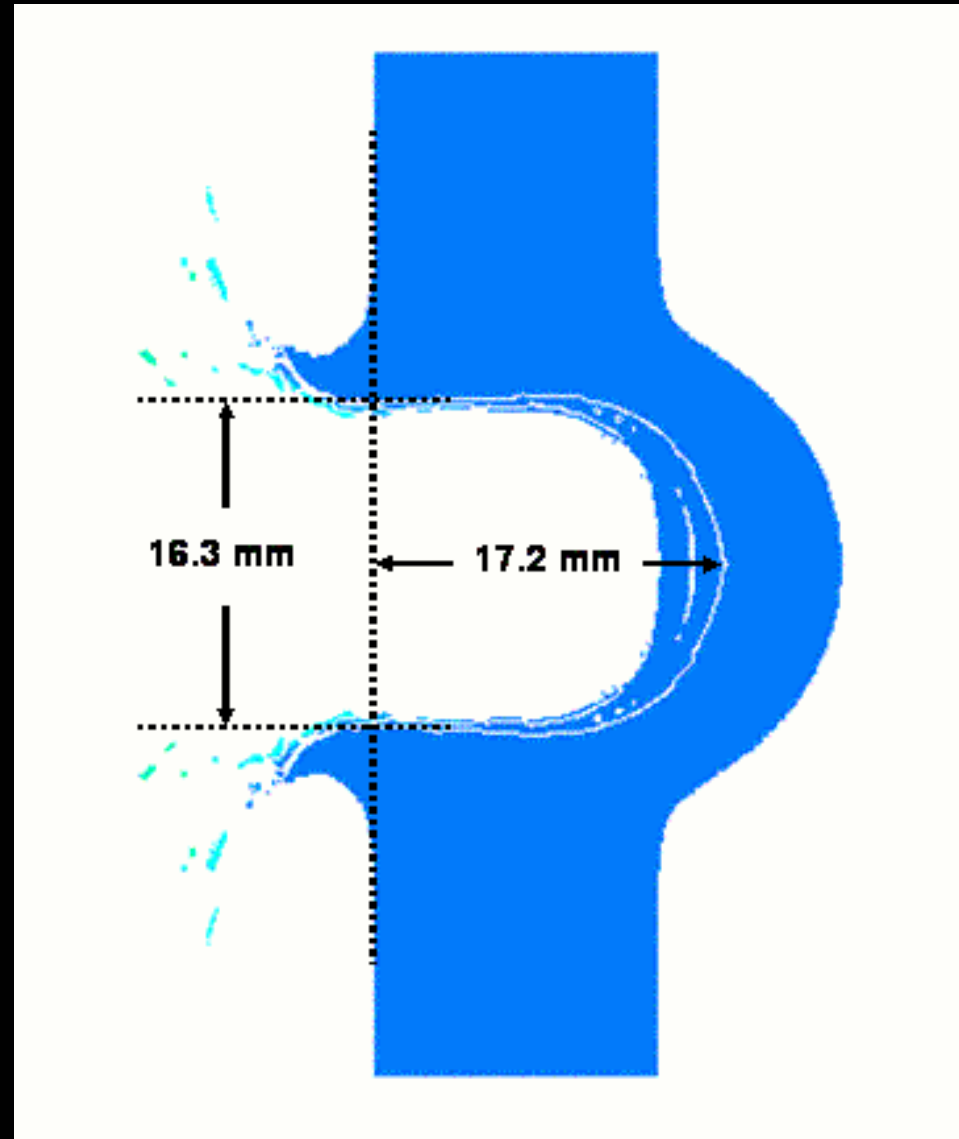


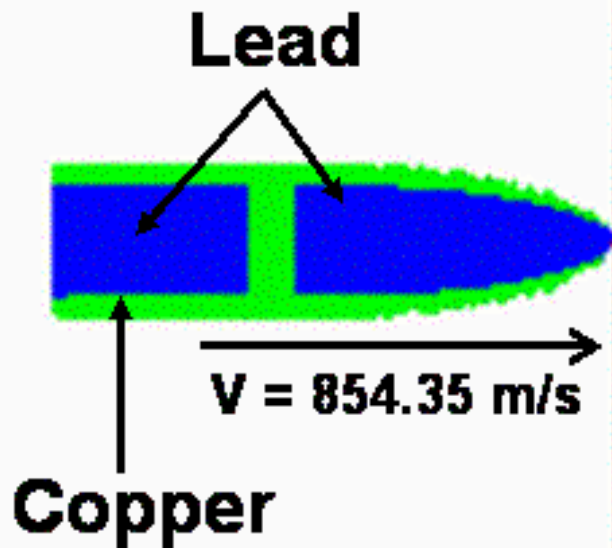
AUTODYN model of a .338 Winchester magnum A-Frame hunting bullet impacting the steel.

AUTODYN  
simulation of  
the bullet  
impacting the  
steel plate.



Impact crater dimensions ,  
Measurements are made to steel surface.





**Kevlar**

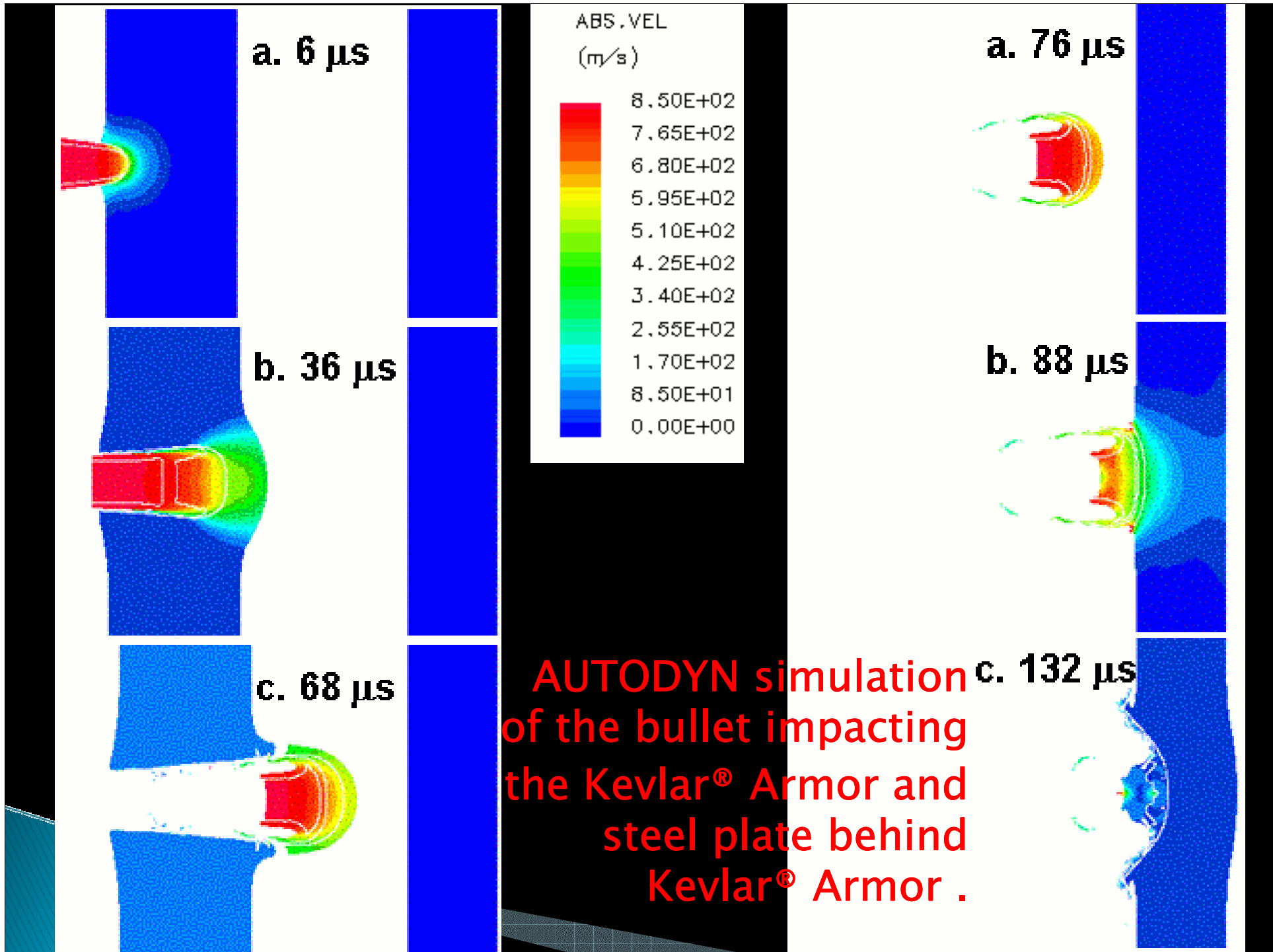
20 mm  
(0.787 in)

**Void**

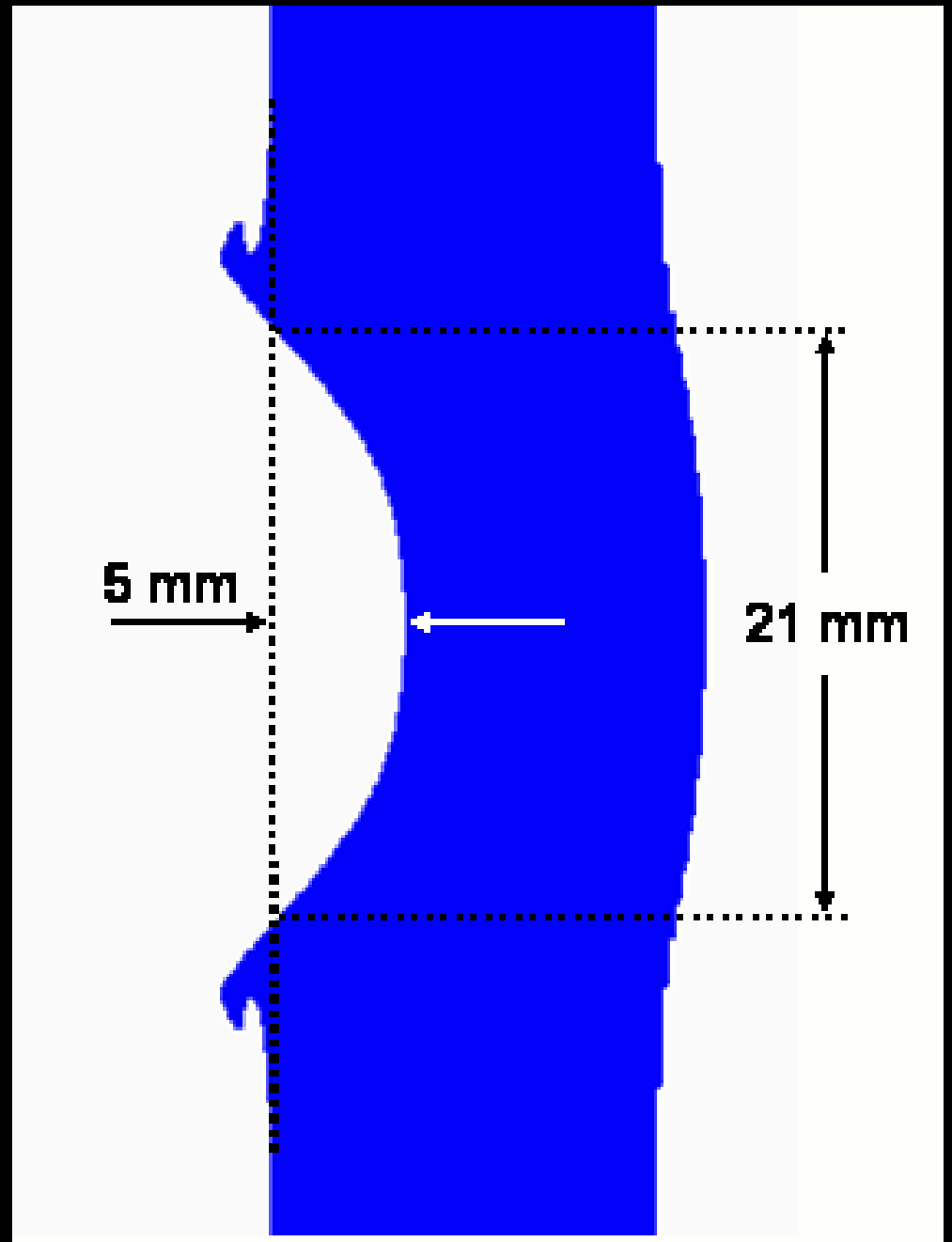
**Steel**

14.275 mm  
(0.562 in)

AUTODYN model of a .338 Winchester magnum  
A-Frame hunting bullet  
impacting the Kevlar® Armor and then steel plate.



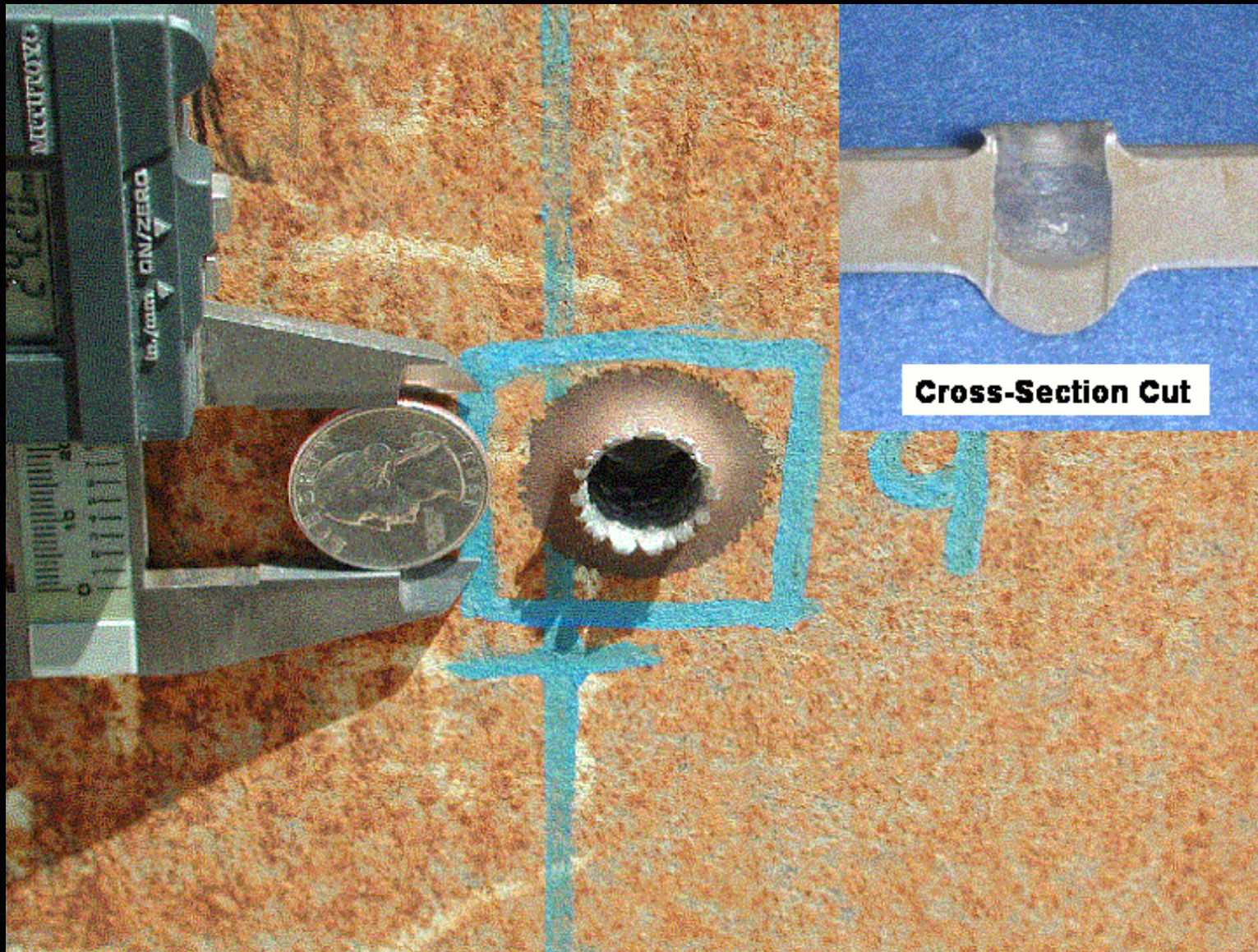
Impact crater dimensions,  
Measurements made to  
steel surfaces.



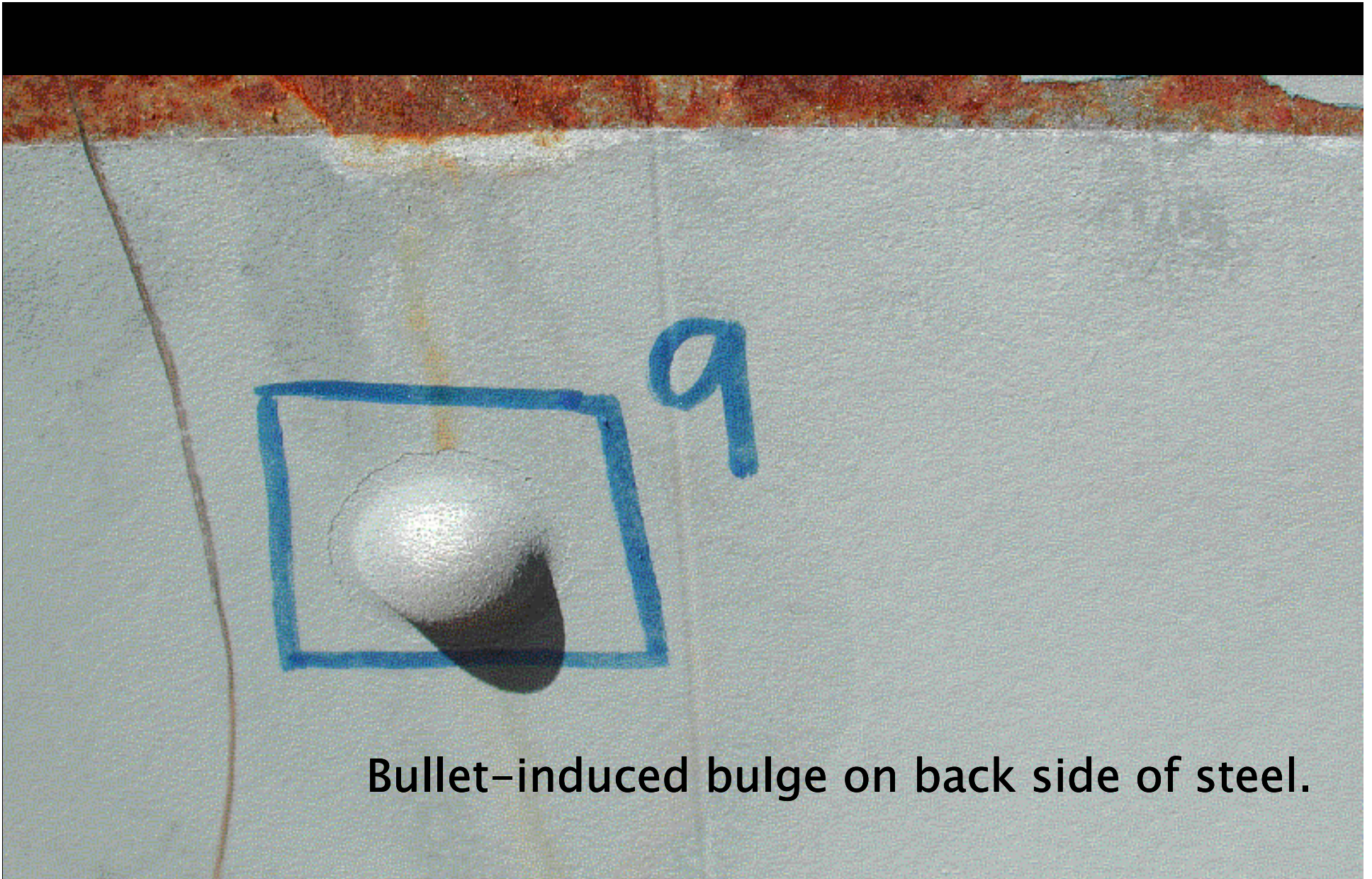


**.338 Winchester Magnum Ruger M70 hunting rifle.**

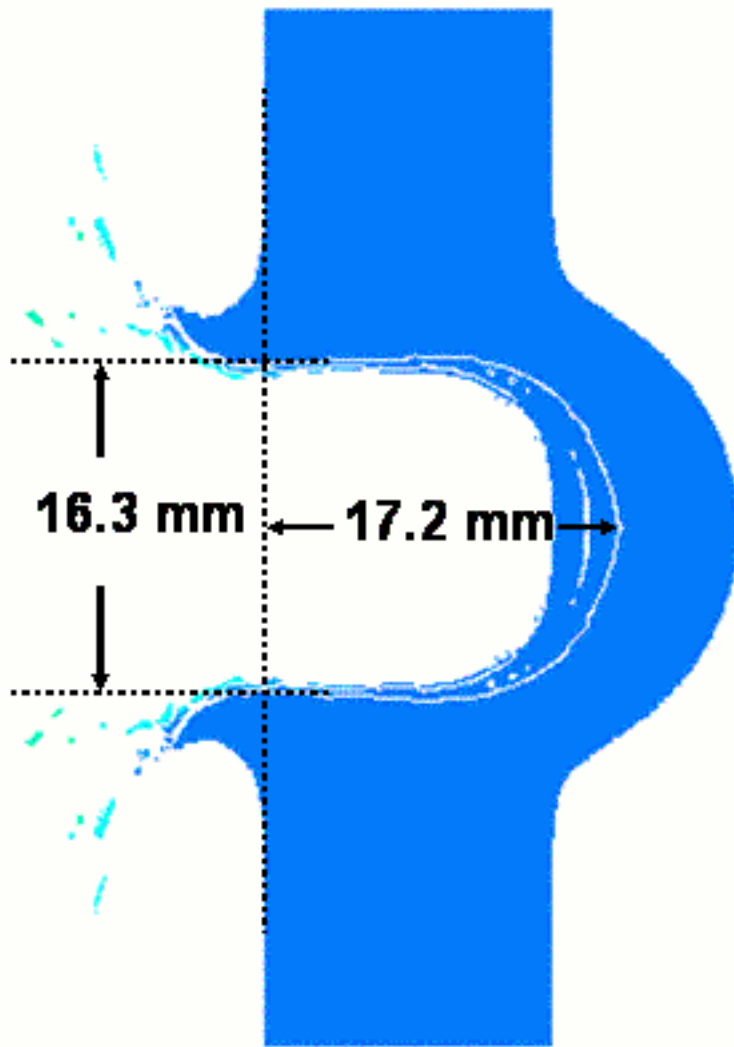




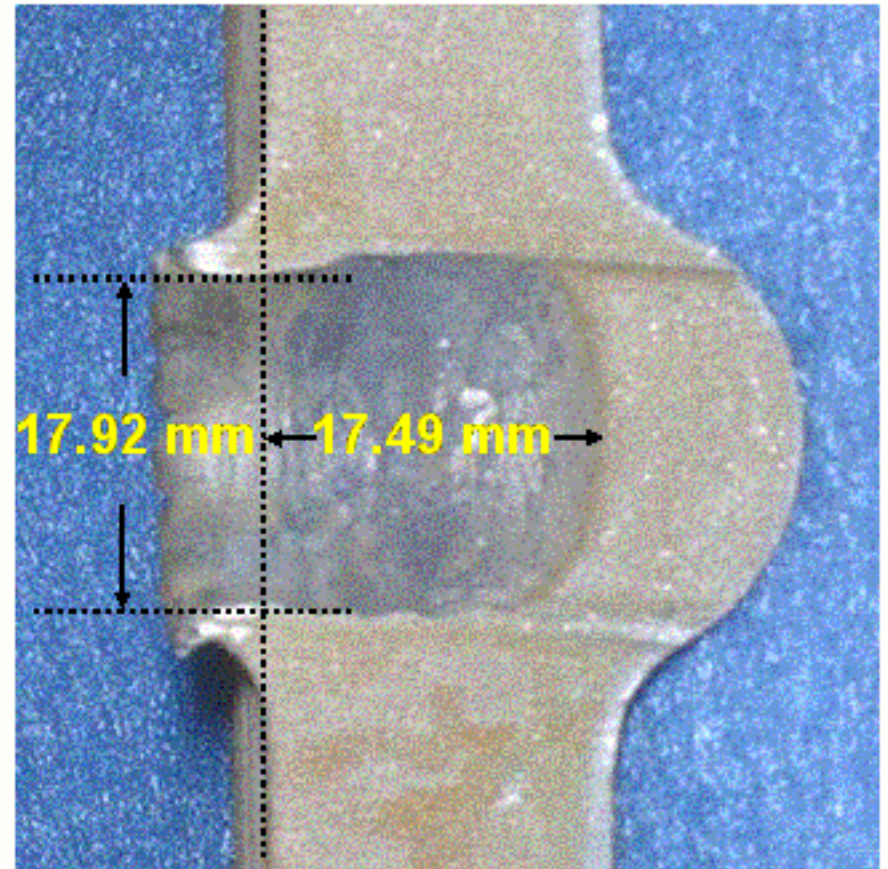
Bullet impact crater on steel plate along with a cross-section cut.



Bullet-induced bulge on back side of steel.

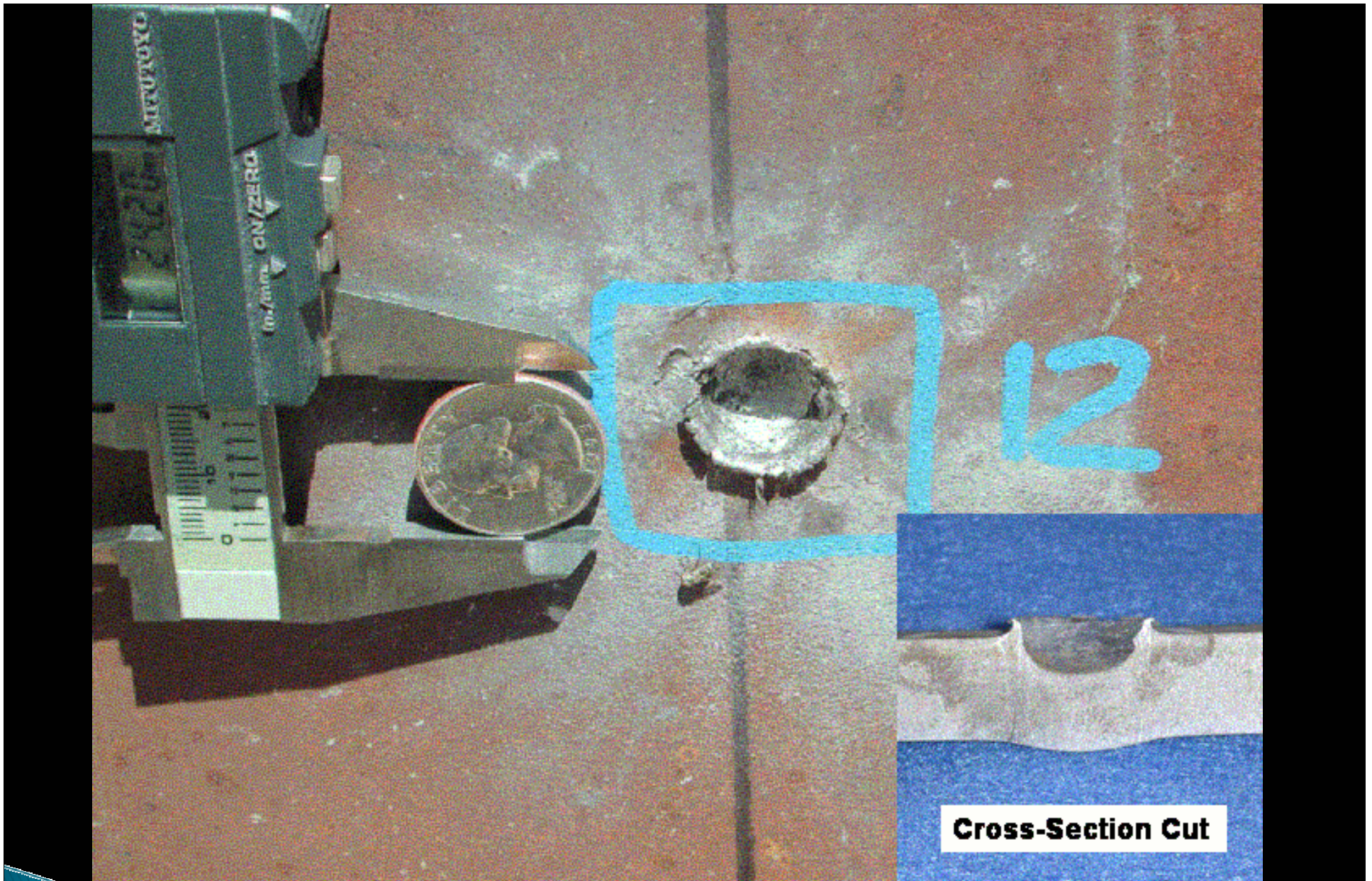


**a. AUTODYN Simulation**

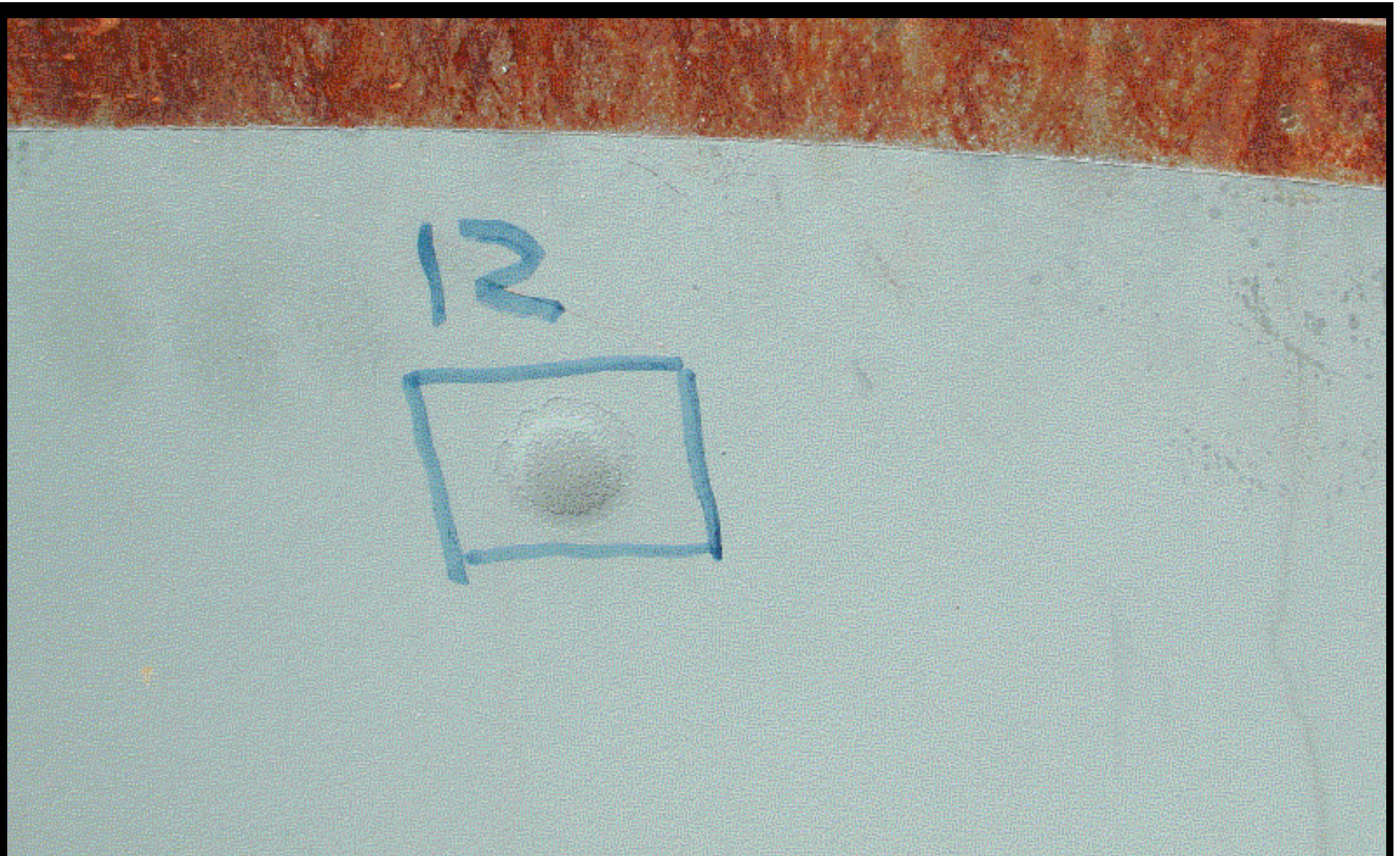


**b. Shot 9 Cross-Section**

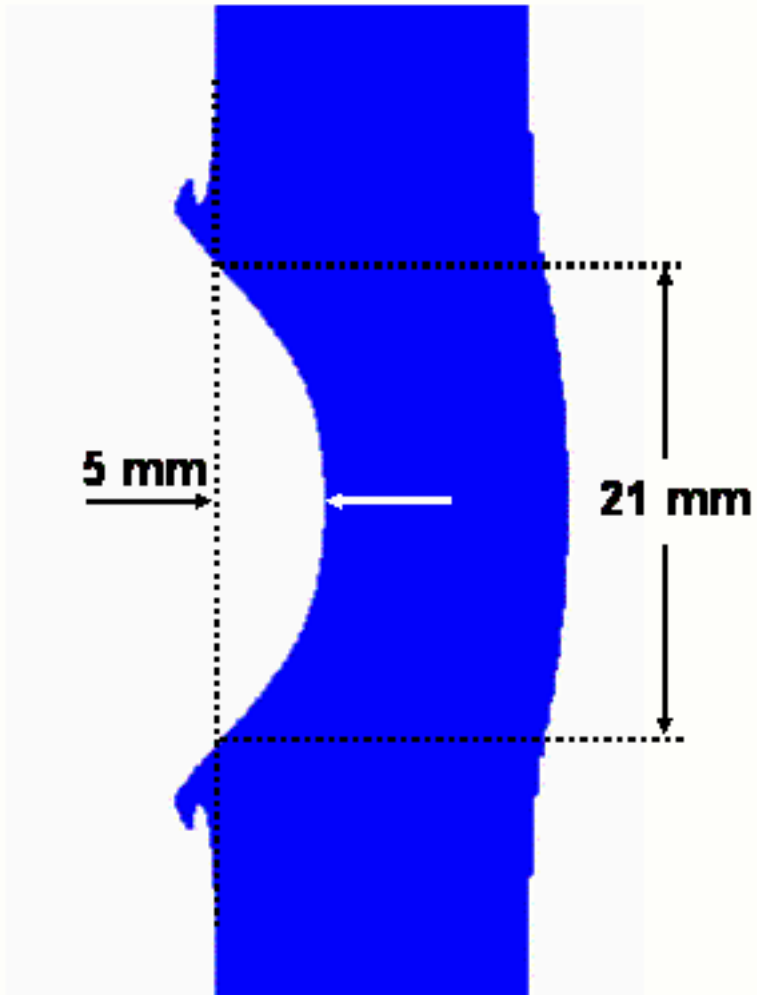
Comparison of AUTODYN predicted crater with experimental crater.



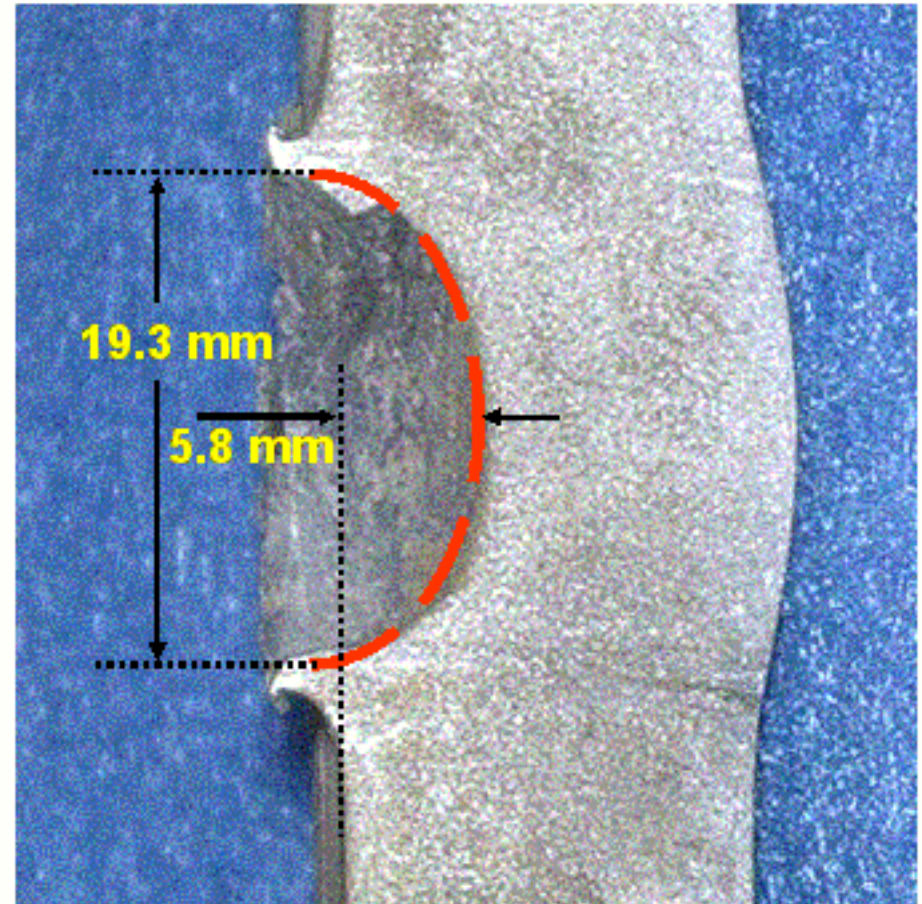
Bullet impact on steel plate when protect by one sheet of 20 mm Kevlar®.



Back view of bullet impact on steel plate when protect by one sheet of 20 mm Kevlar®.



**a. AUTODYN Simulation**



**b. Shot 12 Cross-Section**

Comparison of predicted and measured bullet induced craters in steel following penetration of one 20 mm Kevlar® panel.



Front side of Kevlar<sup>®</sup> panel showing bullet entry hole.



Back side of Kevlar® panel where bullet exited.



## วิจารณ์ผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ

- ▶ การวิเคราะห์ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ดังกล่าวยังมีขีดความสามารถที่ถูกจำกัดของโปรแกรมในการคาดคะเนผลของเส้นใยเคปเลอร์ ซึ่งเป็นเส้นใยทางธรรมชาติ
- ▶ ควรพัฒนาโปรแกรมการใช้งานในการคาดคะเนผลของเส้นใยเคปเลอร์

# สรุปผลการทดลอง

การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็น

- ▶ ความสามารถในการคาดคะเนผลการปะทะของกระสุนปืนแบบทองแดงหุ้มตะกั่ว ด้วยระบบ **AUTODYN (Computer hydrocode)** ได้ผลค่อนข้างดี
- ▶ ระบบการประมวลผลดังกล่าวควรได้รับการพัฒนาเพิ่มเติมในด้านการจำลองรูปแบบที่ถูกเข้าปะทะของเส้นใยเคปเลอร์
- ▶ แสดงให้เห็นความสามารถของเคปเลอร์ที่ความหนา 20 มม. เกือบจะหยุดยั้งกระสุน **.338 winchester magnum** ได้
- ▶ กระสุนหยุดลงที่แผ่นเหล็กหนา 14.275 มม. ซึ่งวางถัดจากแผ่นเคปเลอร์ เนื่องจากมีการรับแรงปะทะมาก่อนแล้ว ทำให้แรงปะทะที่เหลือลดน้อยลง

## แหล่งอ้างอิง

- ▶ Century Dynamics, AUTODYN User and Theory Manual, 2001.
- ▶ Nosler, Inc, Nosler Reloading Guide, 2002.
- ▶ Gareth S. Collins, An Introduction to Hydrocode Modeling, 2002.
- ▶ Frank C. Barnes, Cartridges of the world, 2006.
- ▶ Cartwin Pro, 2008.
- ▶ [www. Google.com](http://www.Google.com)
- ▶ [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

## ขอขอบคุณ

- ▶ พล.ต.ท.อัมพร จารุจินดา
- ▶ พ.ต.อ.พฤตมิเกษ ศรียชัย
- ▶ พ.ต.ท.จิรวังชร ธนุรัตน์
- ▶ พ.ต.ท.กิตติศักดิ์ ยาคุ่มภัย
- ▶ พ.ต.ต.ธีรนนท์ นคินทร์พงษ์
- ▶ ร.ต.ท.สิทธิศักดิ์ เพชรมาตย์





# จบการนำเสนอ

# ปัญหาข้อซักถาม

