

Ballististen Materiaalien mallinnusavusteinen kehittäminen - BalMa

MATINE Tutkimusseminaari 18.11.2015
Tomi Lindroos, Anssi Laukkanen

Projektin perustiedot



- Ballististen Materiaalien mallinnusavusteinen kehittäminen – BalMa, projektikoodi 2500M-0029
- Projekti on suunniteltu kaksivuotiseksi alkaen 1.1.2015 ja päättyen 31.11.2016.
- Rahoitus 2015: MATINE 51 500 €, VTT 14 183 €, **65 683 €**
- Ohjausryhmä:
 - Tomi Lindroos, VTT
 - Paavo Raerinne, PVTUTKL
 - Jukka Kemppainen, Exote Oy
 - Pekka Lintula, Nammo Lapua Oy

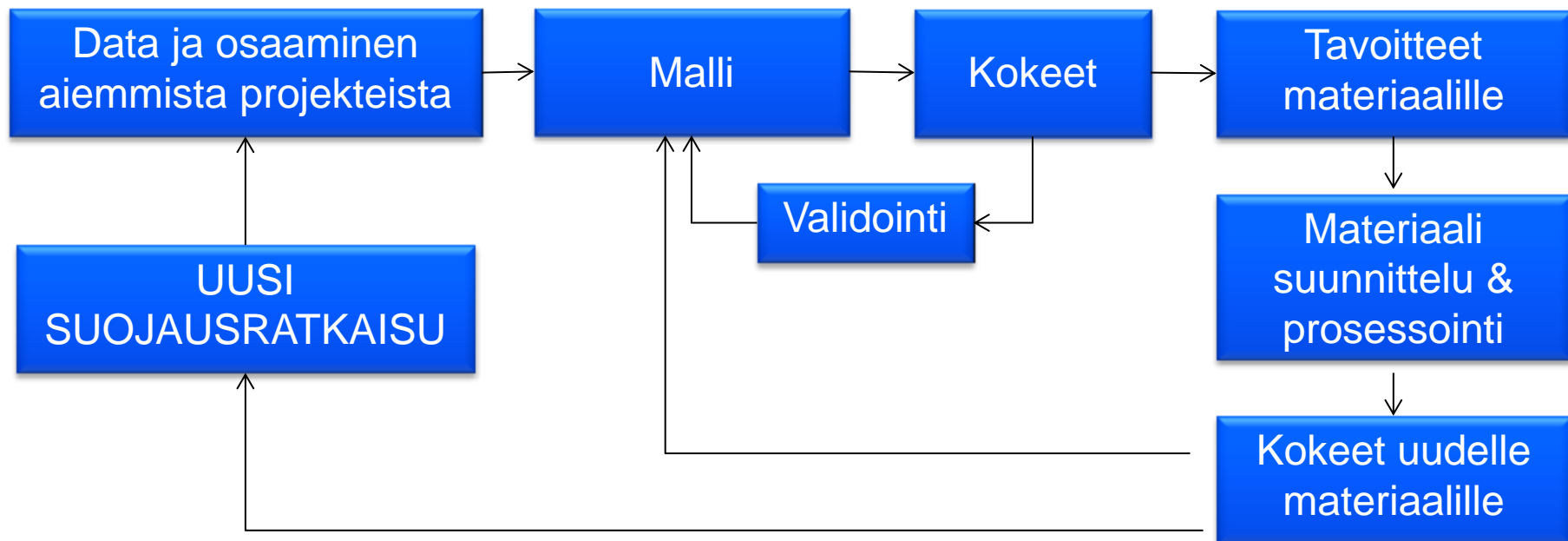
Tausta, lähtökohdat ja kytkennät aiempiin tutkimuksiin



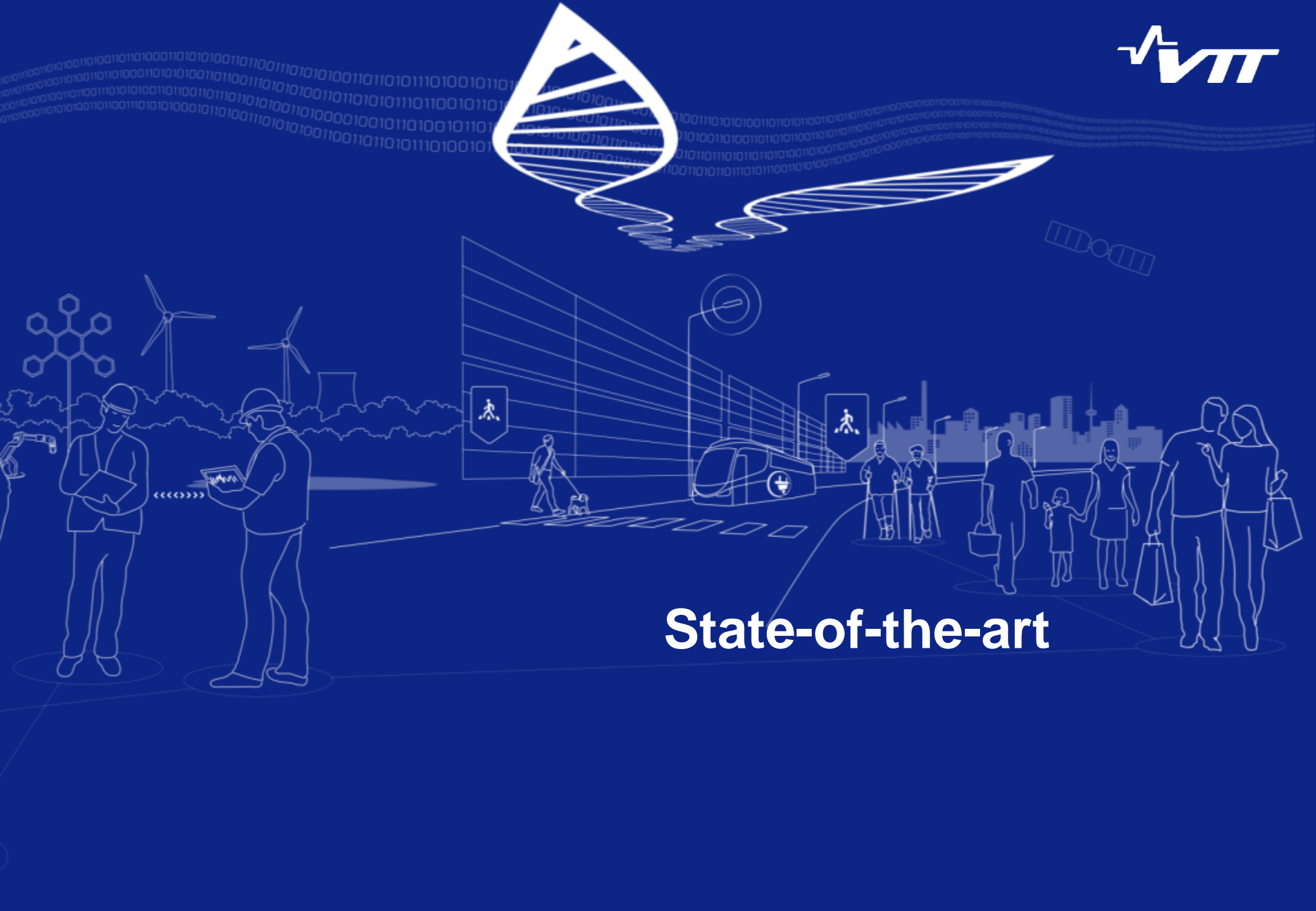
- Ballistisen suojauksen vaatimukset kasvavat koko ajan. Suojauskyvyn kasvattaminen ja samanaikainen painon alentaminen edellyttävät yhä kehittyneempien ja suorituskykyisempien materiaalien ja materiaaliyhdistelmien käyttöä
- Hyödyntämällä uusia, kehittyneitä mallinnus- ja simulointityökaluja on mahdollista ymmärtää paremmin monimutkaistenkin materiaalien ja rakenteiden käyttäytymistä, nopeuttaa kehitysprosessia ja päästä lähemmäs optimaalista ratkaisua.
- Laskentakapasiteetin kasvu yhdistettynä uusien ohjelmistojen tarjoamiin mahdollisuuksiin kuvata eritasoisia ilmiöitä mahdollistaa täysin uuden tyyppisen lähestymisen uusien materiaalien ja rakenteiden kehittämiseksi entistä nopeammin ja kustannustehokkaammin.
- Perinteisesti mallinnusaktiviteetit ovat rajoittuneet rakenteiden ja ballistisen iskun karkeahkoon FE mallinnukseen. Makroskooppisilla rakennemalleilla ei kuitenkaan pystytä kuvaamaan kaikkia vuorovaikutuksia, joista tutkittavan komponentin suorituskyky muodostuu.
- Monitasomallinnuksen (multi-scale modelling) avulla malliin voidaan luoda yksityiskohtaisempia piirteitä aina elektroni- ja atomitasolle asti riippuen kuvattavan ilmiön mittakaavasta.

Tavoitteet

- Projektin kokonaistavoitteena on kehittää työkaluja, jotka mahdollistavat entistä tehokkaampien (suorituskyky = suojaustaso + neliöpaino) suojausmateriaalien ja rakenteiden kehittämisen nopeammin ja kustannustehokkaammin.
- Projektissa luodaan perusteet materiaalien ja rakenteiden mallinnusavusteiselle suunnittelulle ja lisätään tätä kautta ymmärtämystä materiaalien käyttäytymisestä ballistisessa iskussa.



1. Selvittää monitasomallinnuksen tämän hetkiset mahdollisuudet ja rajoitukset entistä tehokkaampien ballististen suojamateriaalien kehittämiseksi.
2. Kehittää mikrorakennetason malleja, jotka mahdollistavat iskuenergian jakautumisen visualisoinnin mikrorakenteessa ja tätä kautta ymmärtää miten mikrorakennetta tulisi muokata suorituskyvyn kasvattamiseksi.
3. Suorittaa kokeellista testausta (mekaaniset ominaisuudet, ampumakokeet) mallien verifioimiseksi ja mallinnuksen materiaaliparametrien määrittämiseksi.



State-of-the-art

State of the art Wilkins' Ceramics Model 1964

A REVIEW OF COMPUTATIONAL CERAMIC
ARMOR MODELING

*Ceramic Engineering and Science
Proceedings*

Copyright © 2007 by the American Ceramics
Society

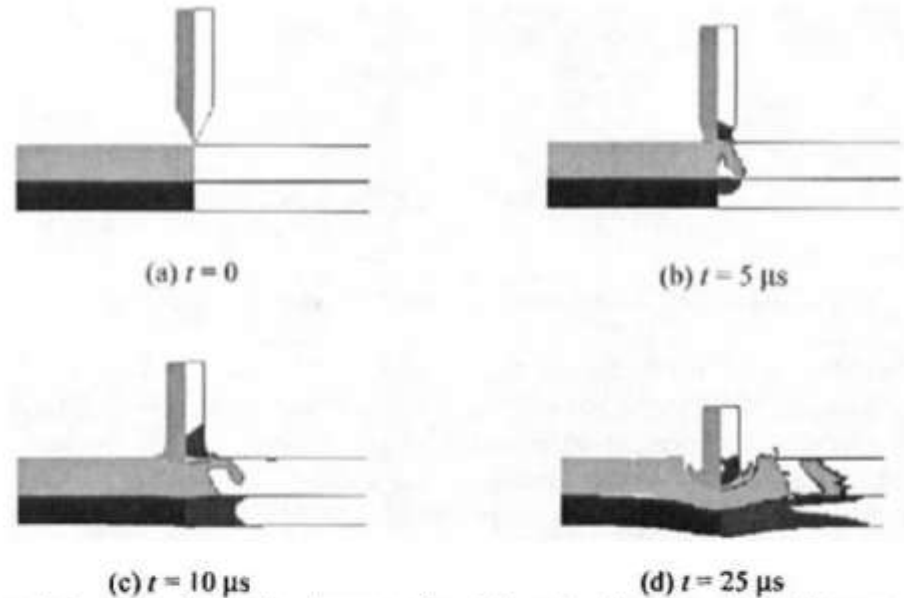


Fig. 6. Simulations results for the impact of an AP projectile into a B₄C/Al target using the Wilkins' ceramic model.

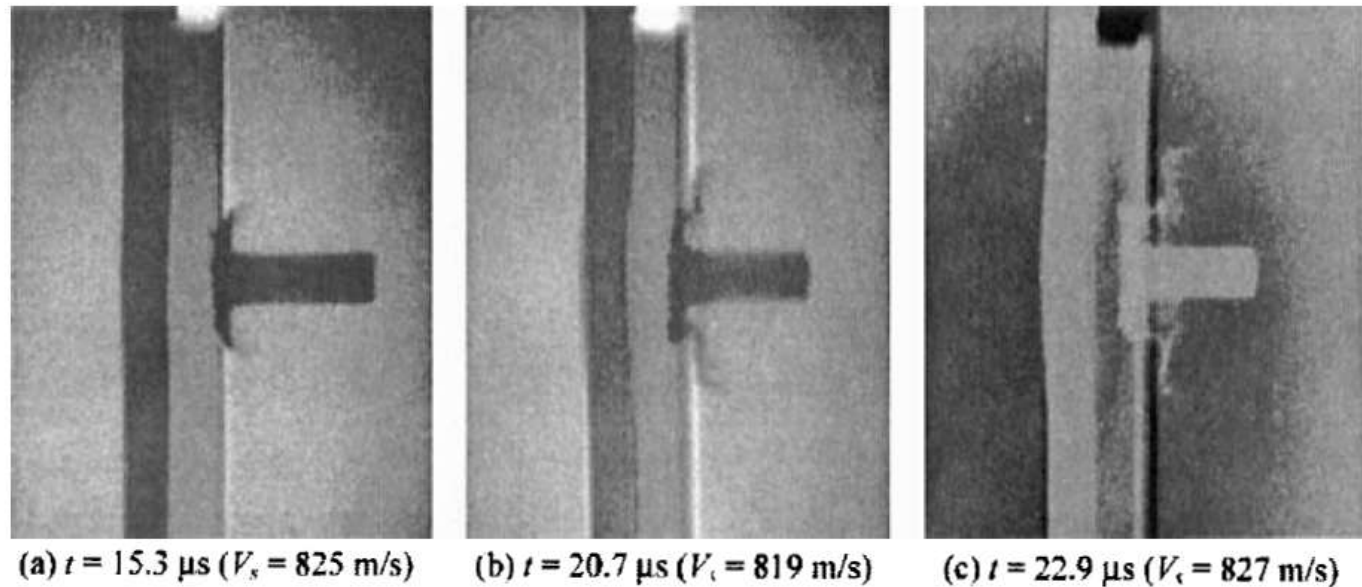


Fig. 10. Flash radiographs of APM2 impacting a 7.62-mm B₄C/6.6-mm 6061-T6 Al target at approximately 825 m/s [12].

State of the art modelling (FEM)

7.62 FFV impact to SiC

- Johnson-Cook model for FFV WC-Co core
- SiC Johnson-Holmquist model

$$\sigma_y = \left[A + B \bar{\epsilon}_p^n \right] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}_p}{\dot{\epsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right]$$

$$D = \frac{\epsilon_p}{\epsilon_f}, \quad \epsilon_f = \left[D_1 + D_2 \exp \left(D_3 \frac{\sigma^m}{\bar{\sigma}} \right) \right] \left[1 + D_4 \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}_p}{\dot{\epsilon}_0} \right) \right] \left[1 + D_5 \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right) \right],$$

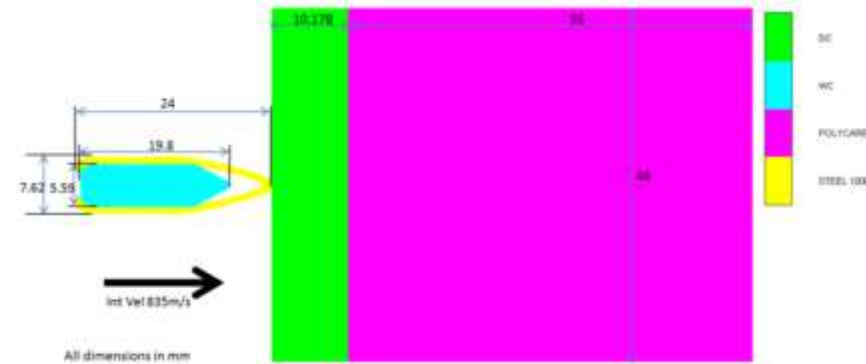


Figure 4. FFV Experiment Geometry.

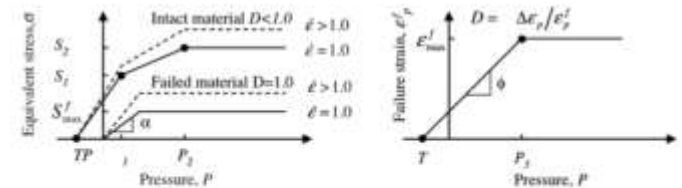
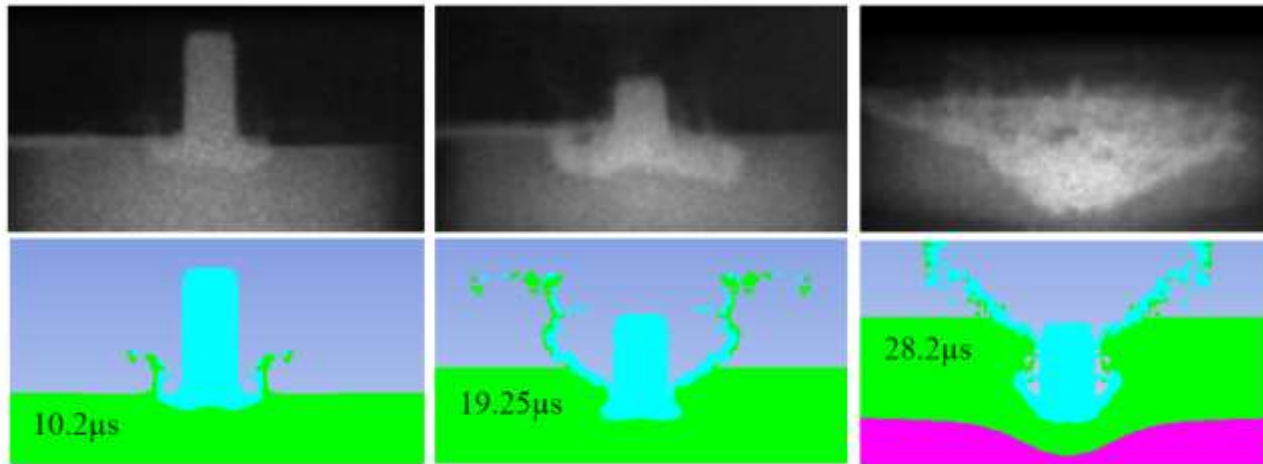


Figure 5. The Johnson-Holmquist constitutive model showing the material property relationships for ceramics (courtesy Hazell et al [8]).

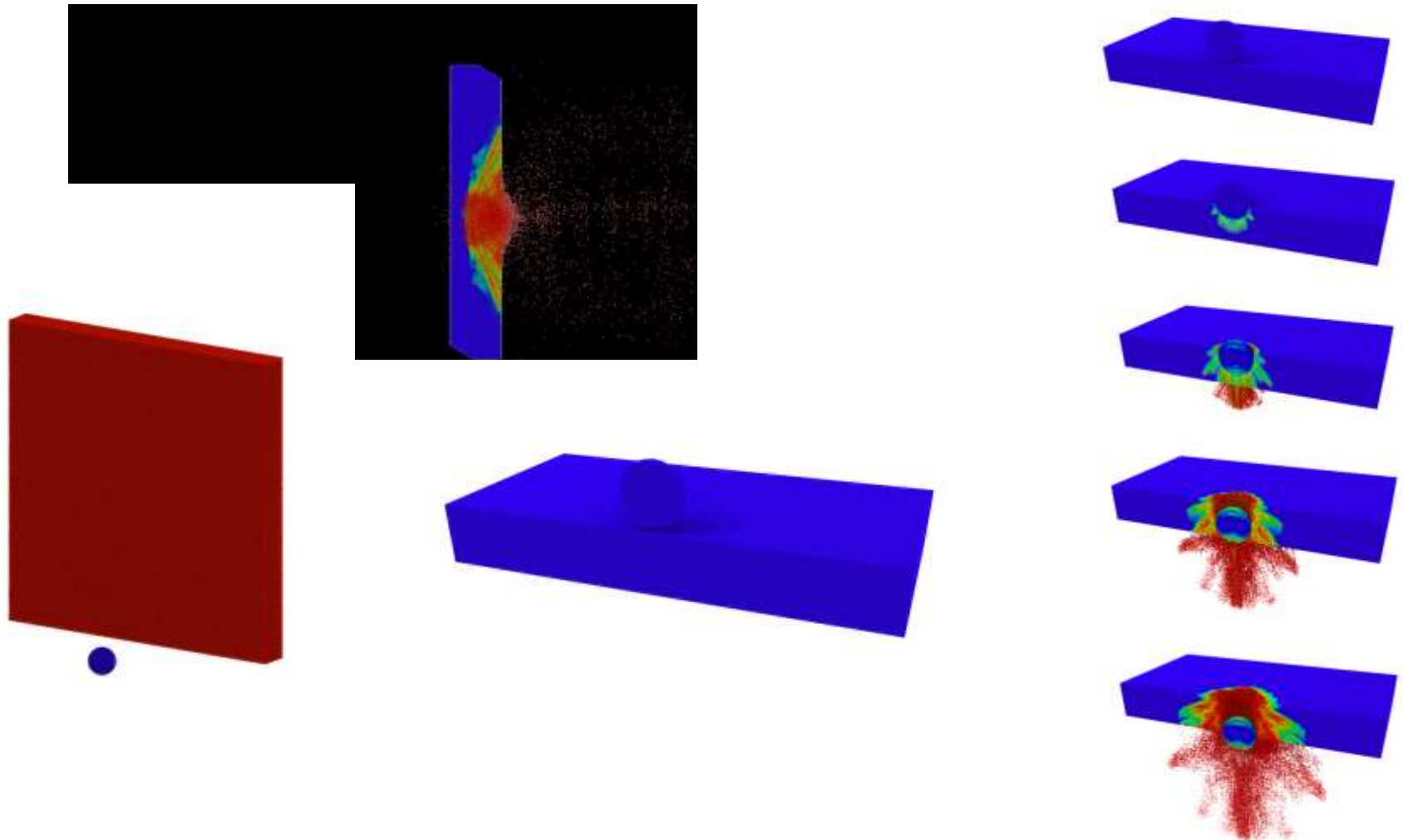
Computational Modelling of a Tungsten Carbide Projectile into Ceramic Faced Armour

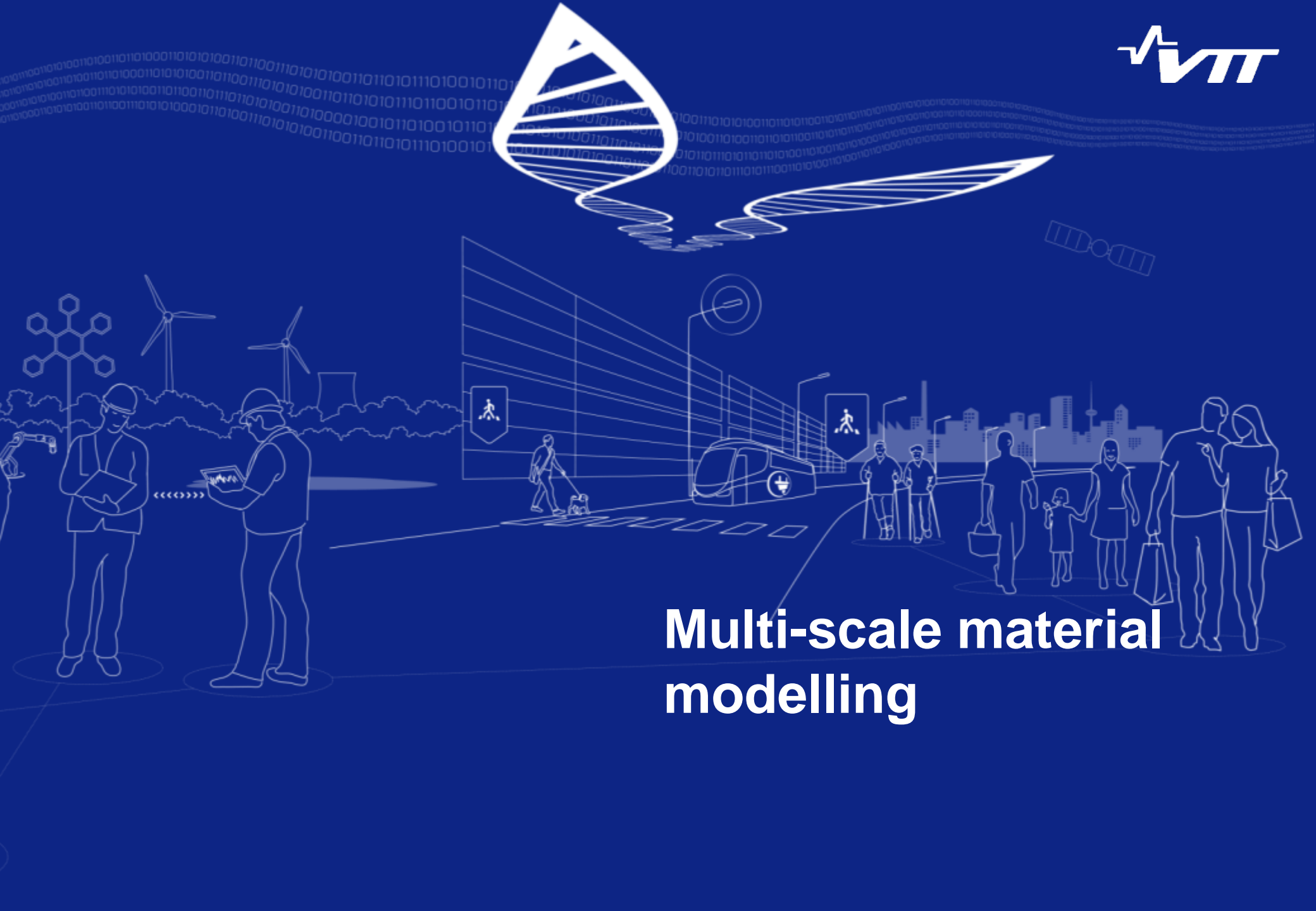
Shannon R. Lemanski¹

University of New South Wales at the Australian Defence Force Academy

Discrete Element Method (DEM)

Discrete analysis of penetration of an extremely hard projectile through a brittle (ceramic like) single layer material (velocities in range 300 m/s – 2 km/s)



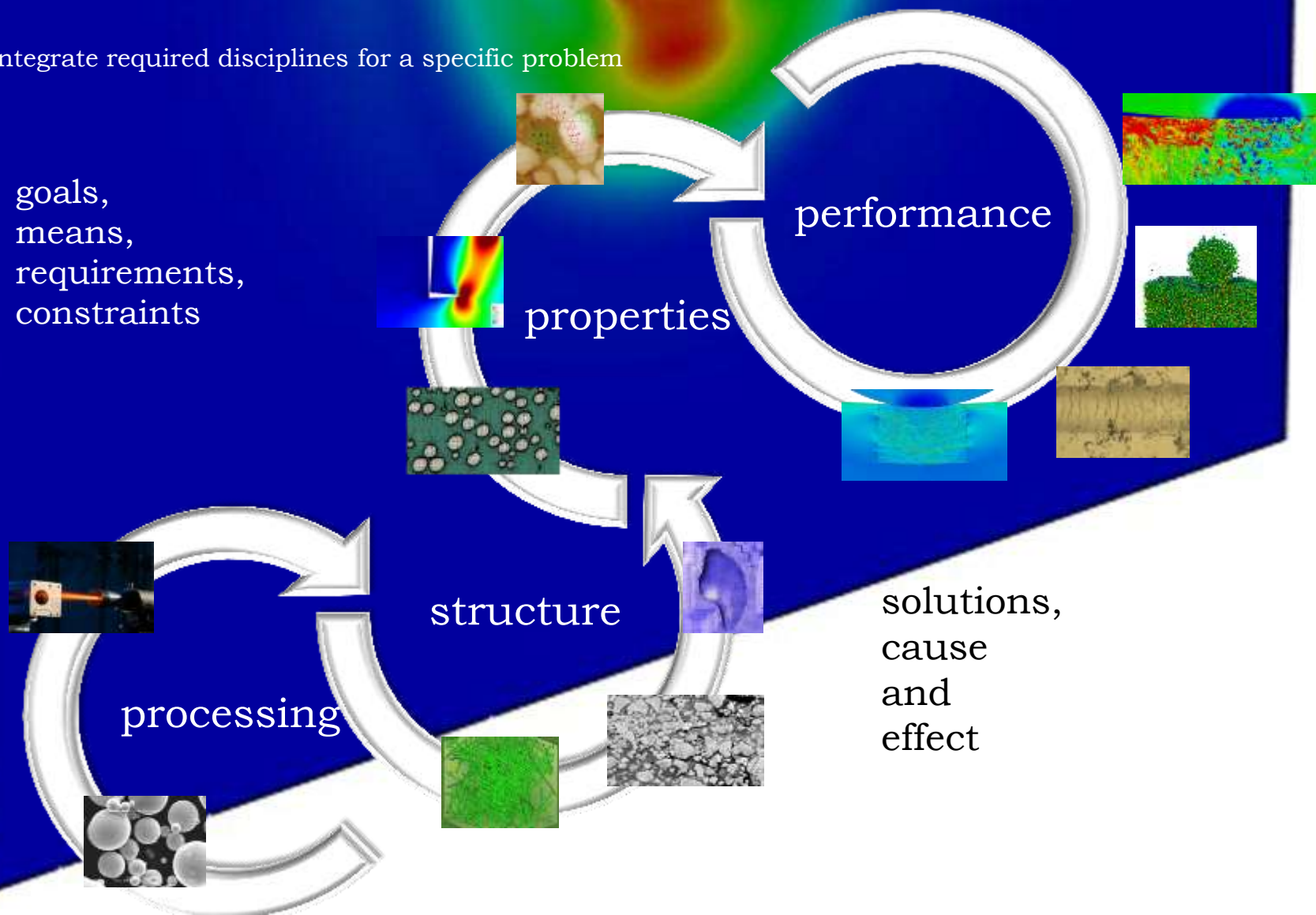


Multi-scale material modelling

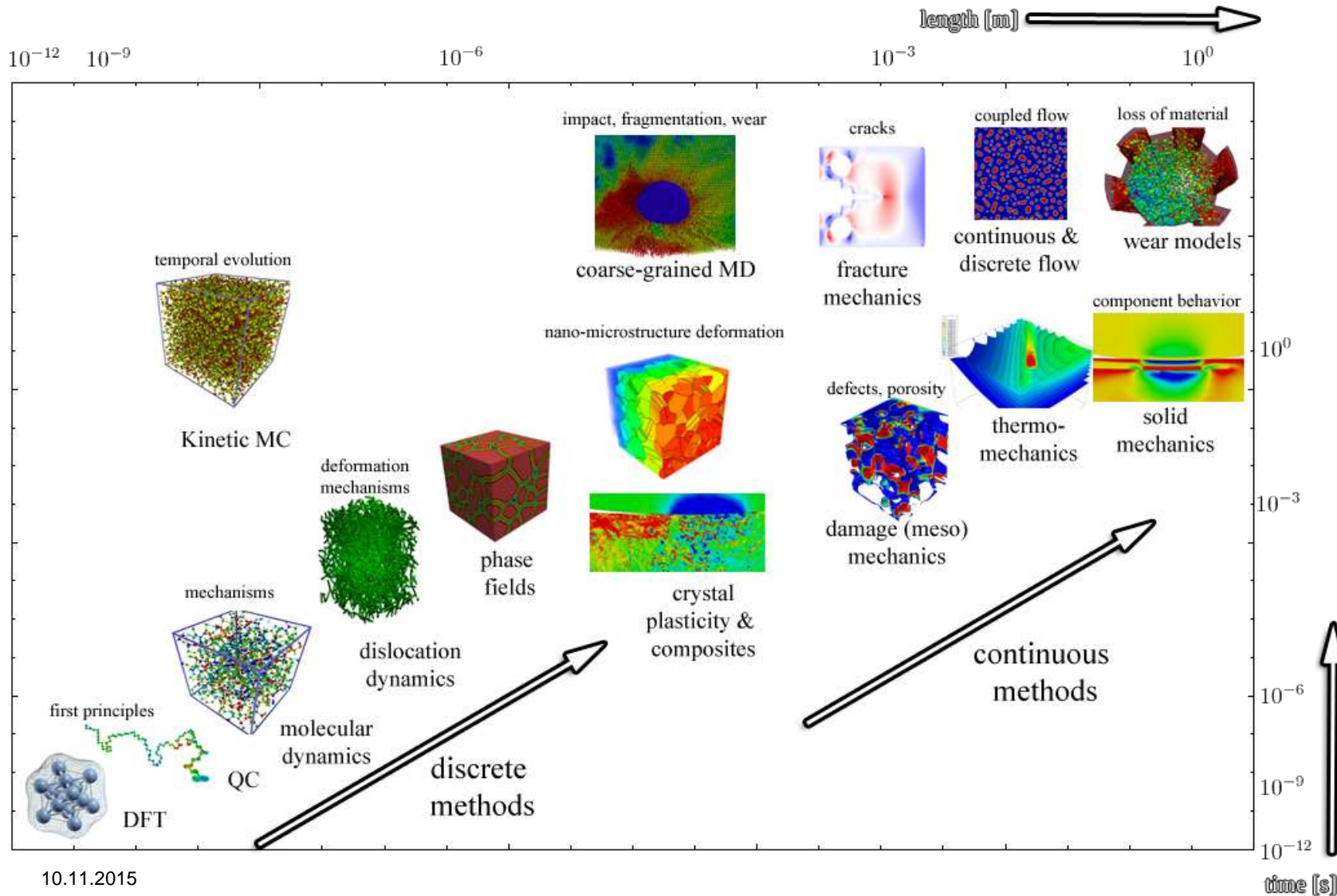
The "PSPP" Modeling Approach

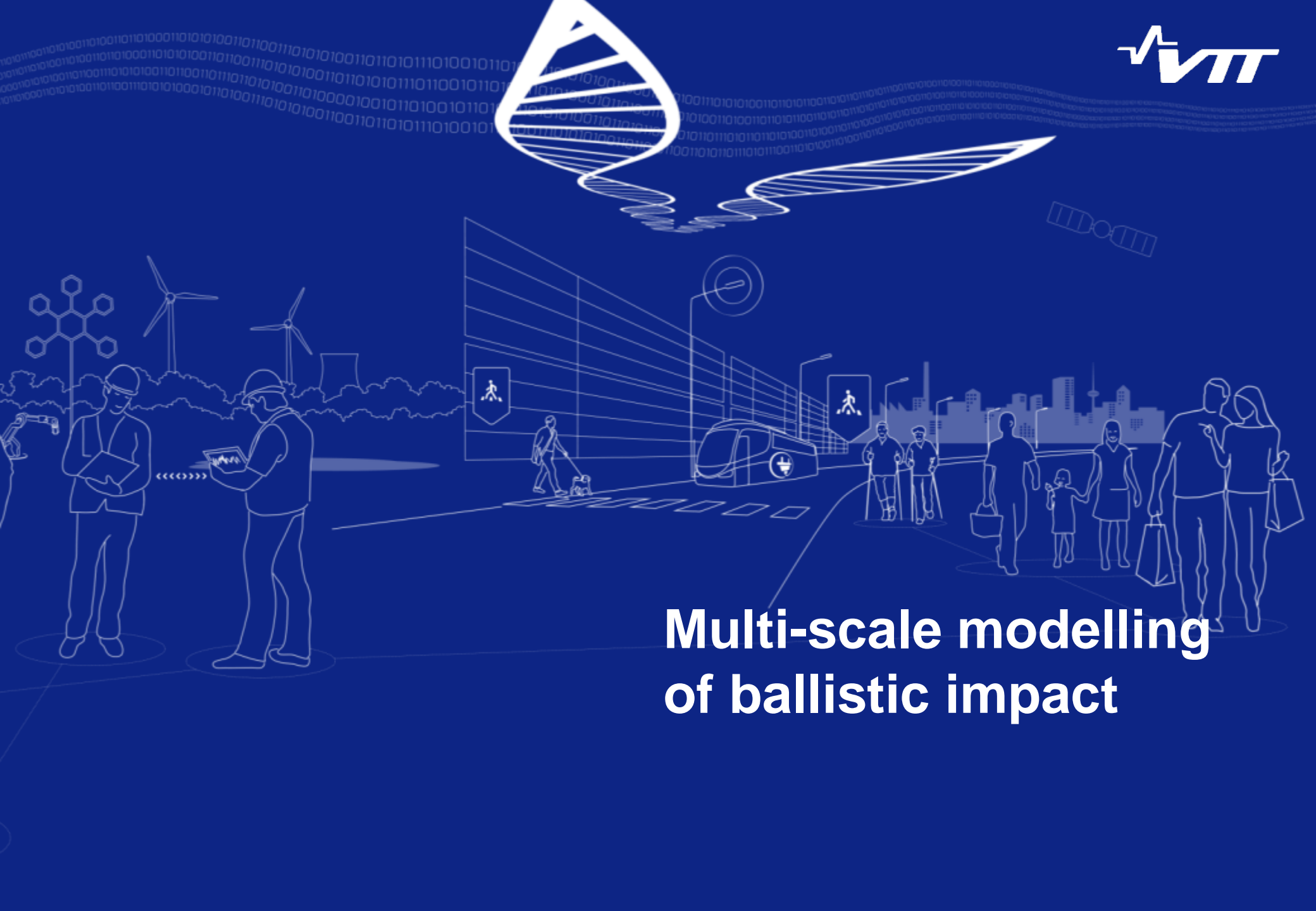
Integrate required disciplines for a specific problem

goals,
means,
requirements,
constraints



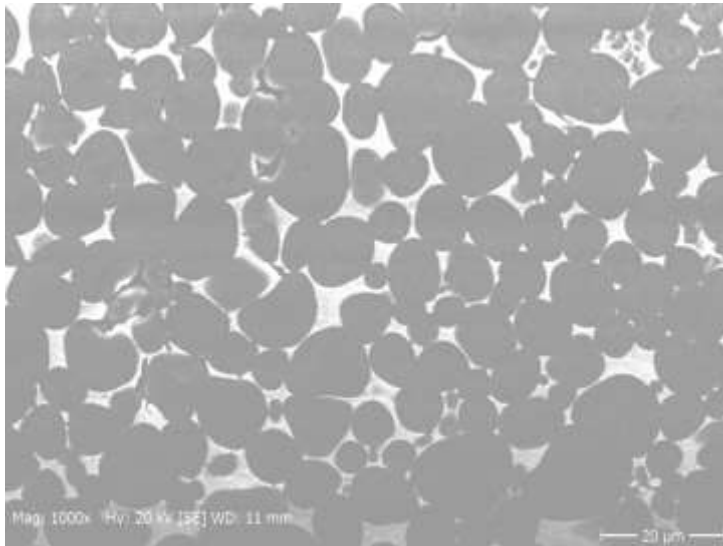
Multi-scale modelling



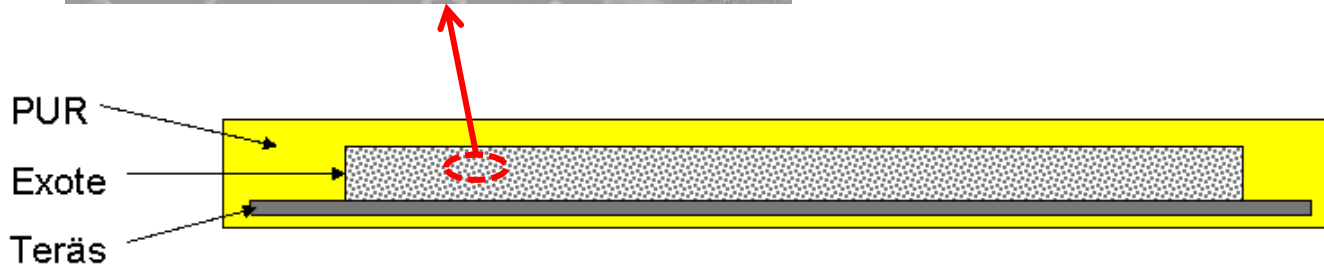


Multi-scale modelling of ballistic impact

Material and Structure



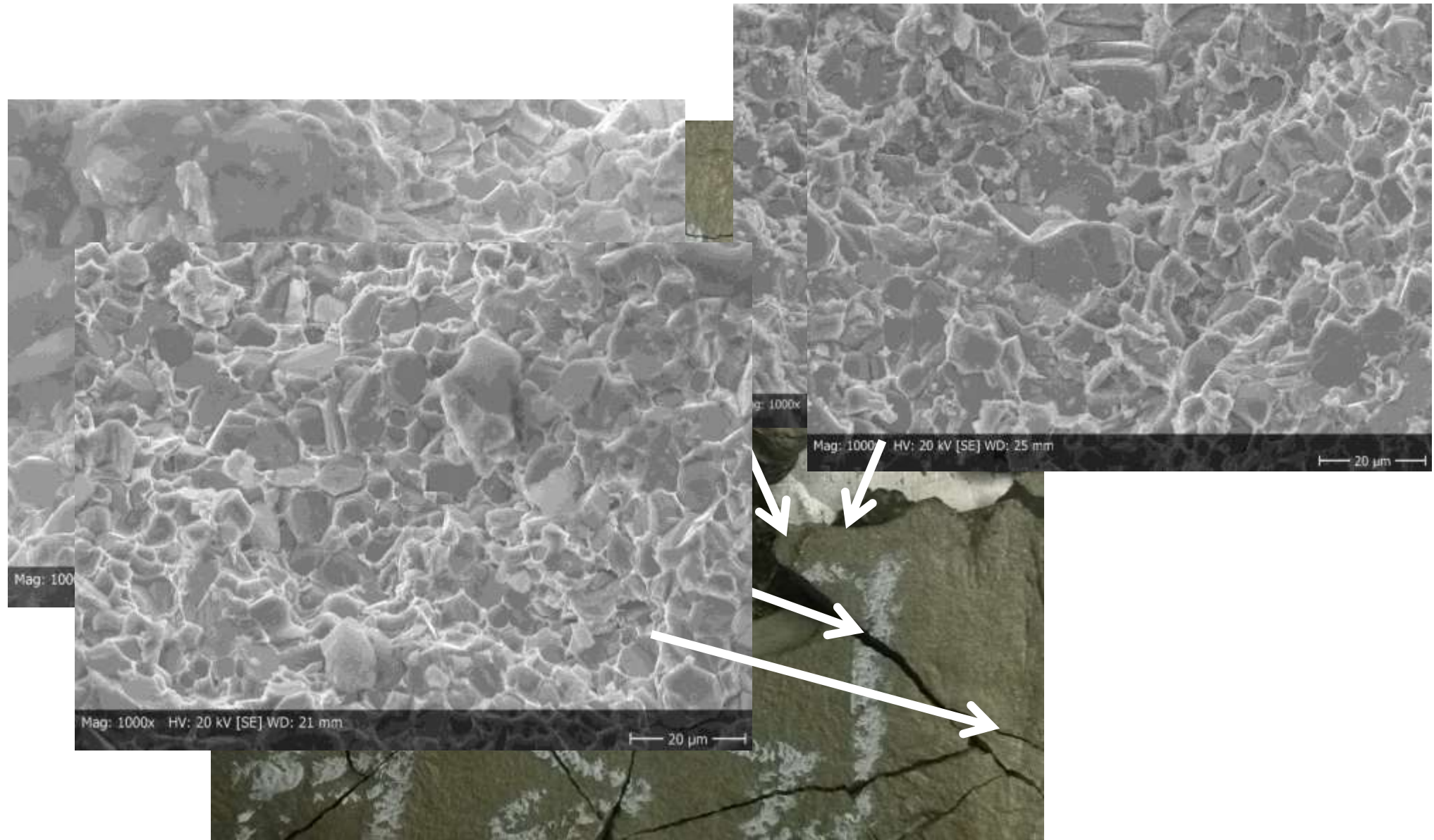
Material	Manufacturer	Trade name	Density [g/cm ³]	Hardness [HV]	Fracture toughness [MPa m ^{1/2}]	Flexural strength [MPa]
Al ₂ O ₃	Coorstek	AD995	3,9	1417	4,50	379
Al ₂ O ₃	Morgan	Sintox CL	3,89	1733	3,5	410
B ₄ C	BAE	PAD B ₄ C	2,52	2029	2,8	450
B ₄ C	Ceradyne	Cerallloy 546	2,5	1978	2,5	410
SiC	BAE	PAD SiC-N	3,21	1999	5,1	570
SiC	Ceradyne	Cerallloy 146	3,22	1907	5,4	500
SiC	Morgan	-	3,12	1999	2,6	-
SiC	Saint Gobain	Hexoloy SA	3,15	2029	2,6	380
Si-B ₄ C	M-Cubed	RBB ₄ C	2,57	1560	4	280
WC-Co		VM-10	14,4	1295	20	2000
TiC-M	Exote	E6-55	5,5	1394	15,2	1223
TiC-M	Exote	E6-55N	5,5	1180	16,8	2000
TiC-M	Exote	E6-53N	5,2	1880	12,2	1380
TiC-Al ₂ O ₃ -M	Exote	E3	4,5	1724	5,3	640
WC-15Co	Ceratizit medium	WC-15Co		1250	18	3000

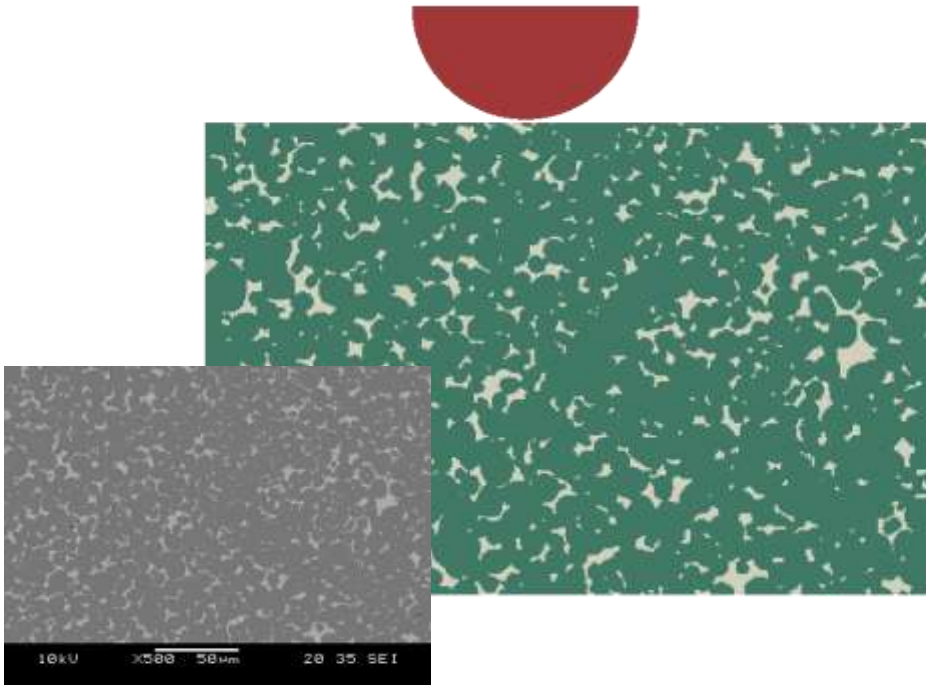


Test structure for ballistic testing against 7.62-51 FFV AP (M993) and cross-section of structure after impact



Damage structure





SEM image based finite element model of a TiC-Ni composite microstructure and a WC projectile:

- Johnson-Cook rate dependent material models for WC, TiC and Ni
- Solution for rate dependent deformation behavior during impact and also with material failure (Johnson-Cook failure model).

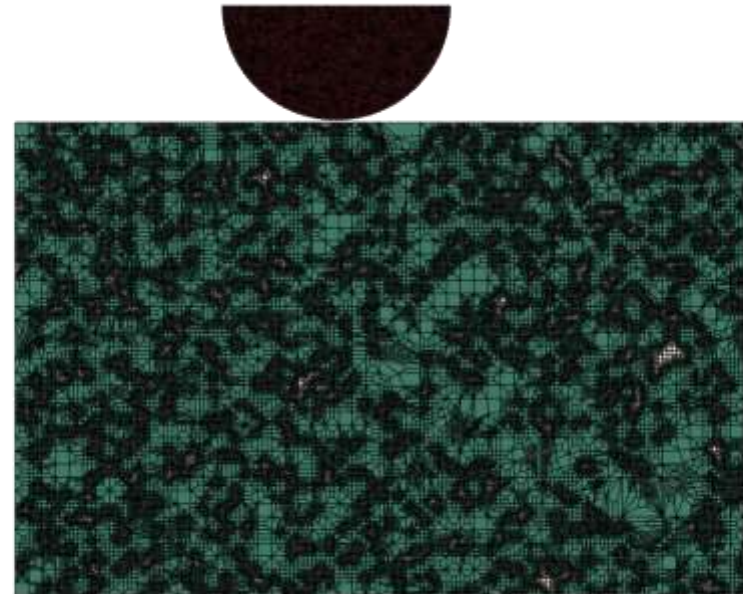
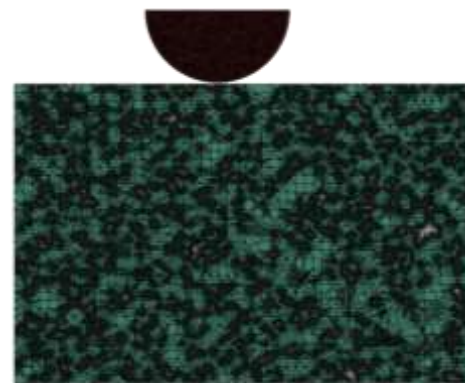
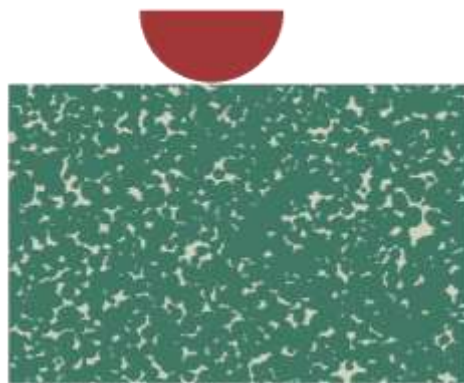
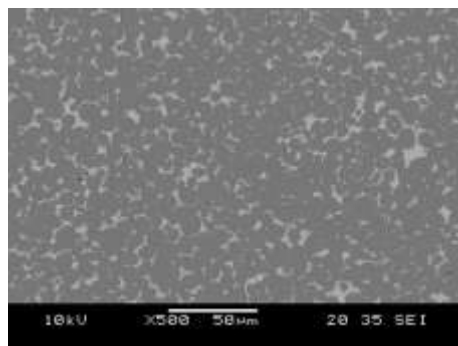
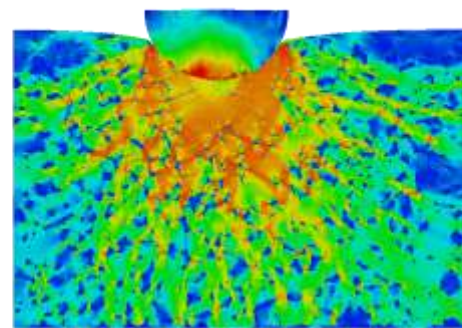
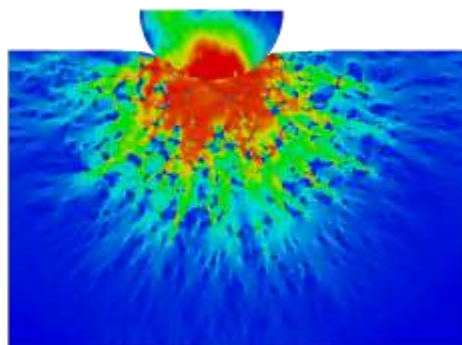
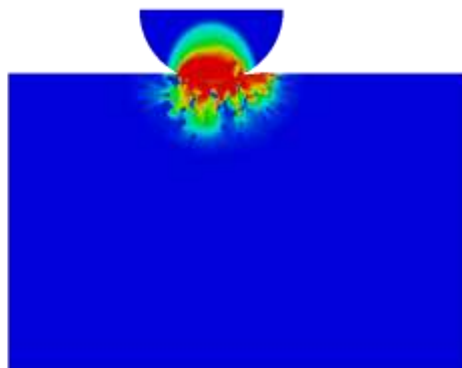


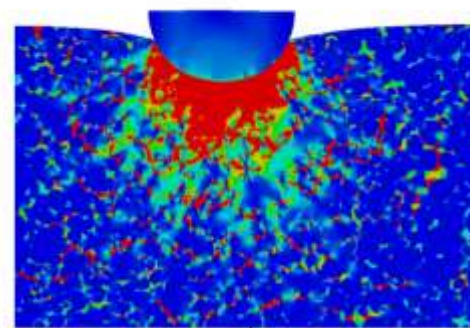
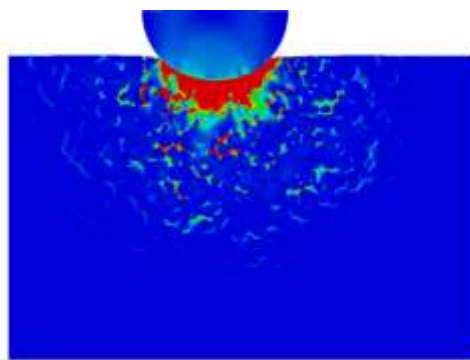
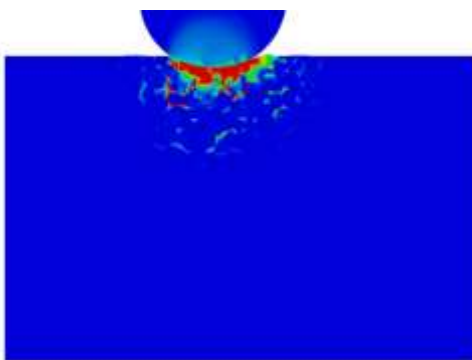
Image based meshing of individual composite phases respective phase interfaces. Isotropic phase specific properties.



From micrograph to micro scale model

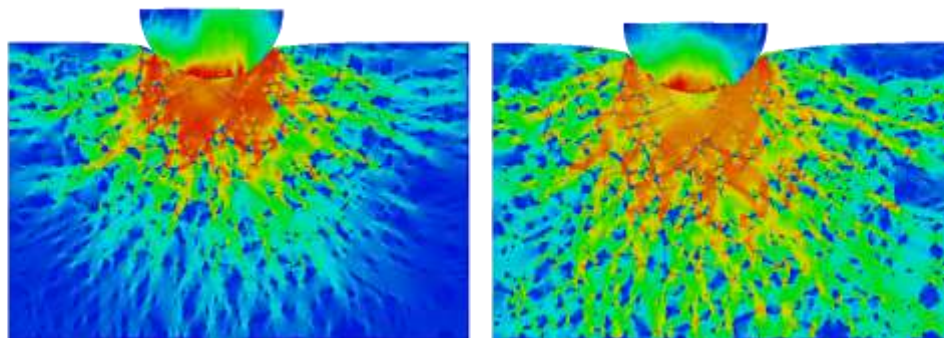
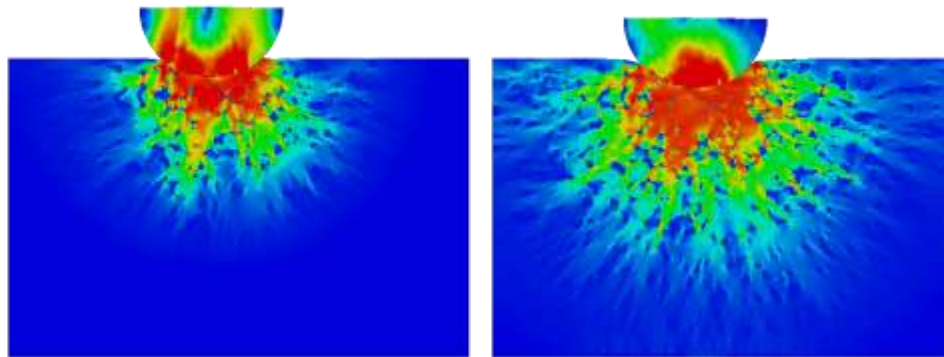
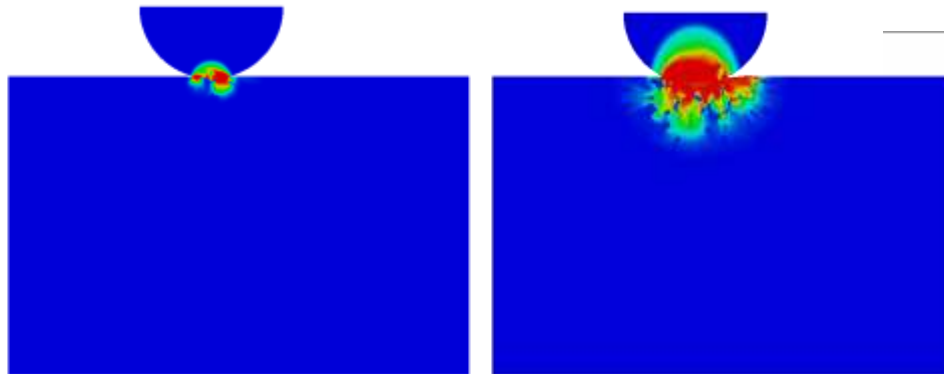


Stress

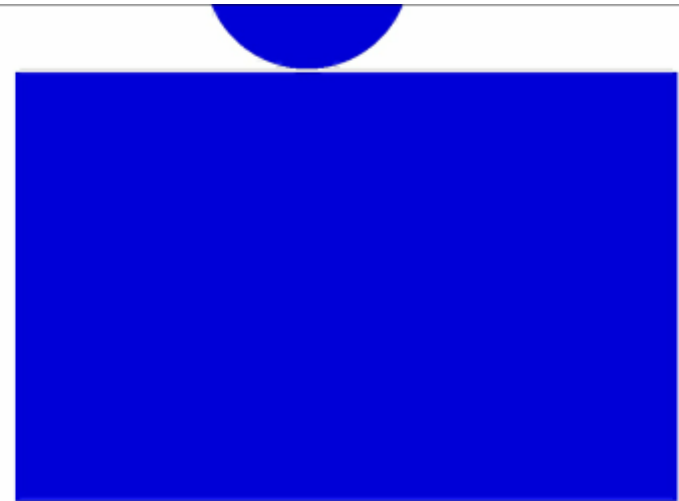


Strain

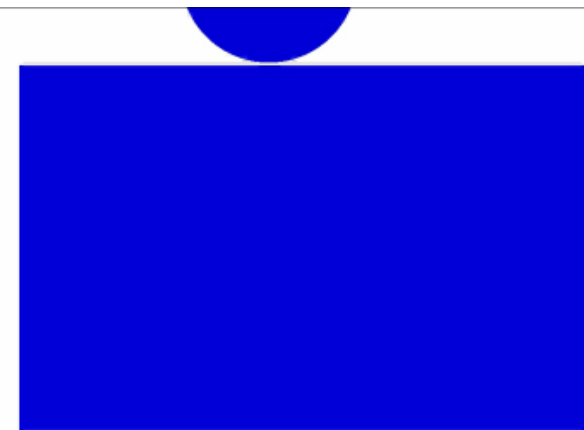
Analysis of deformation, impact velocity 950 m/s



Equivalent stresses during impact.

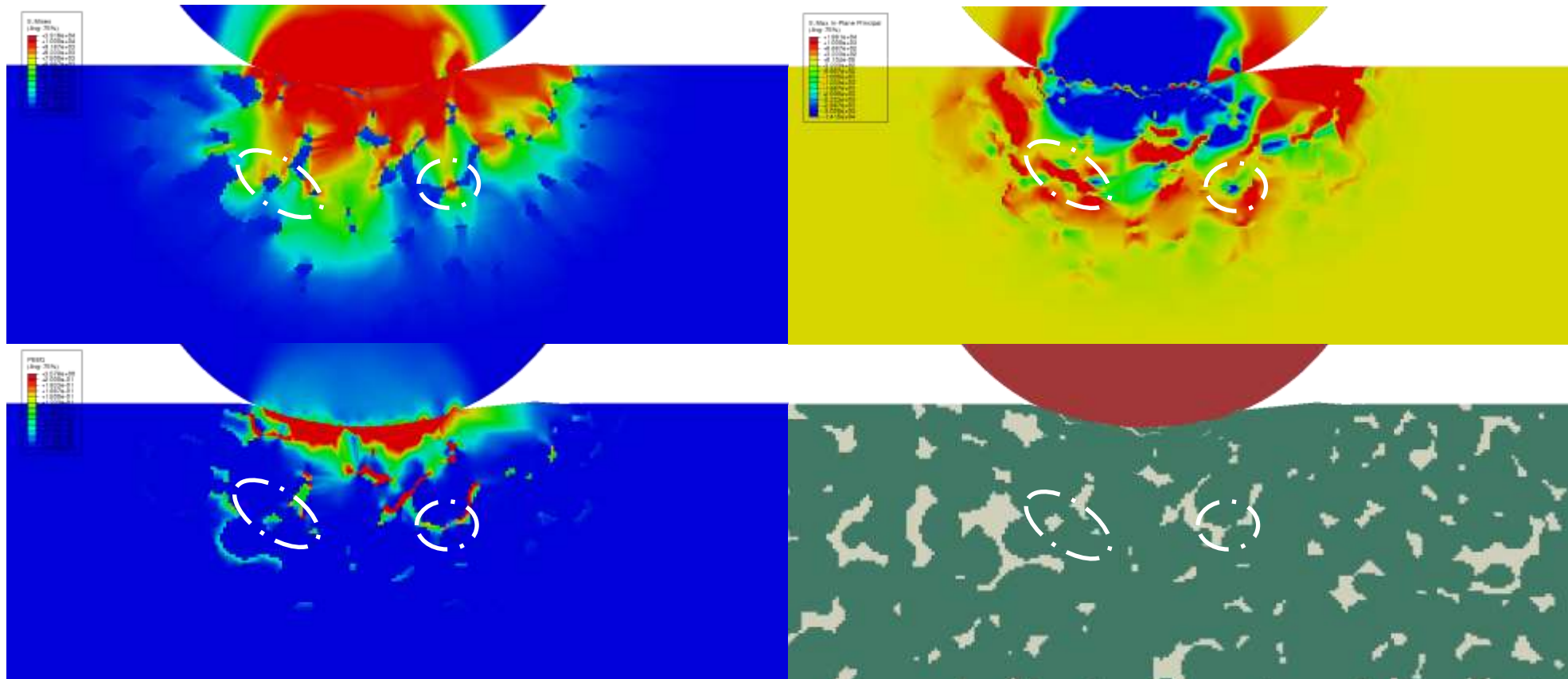


Equivalent stresses during impact.

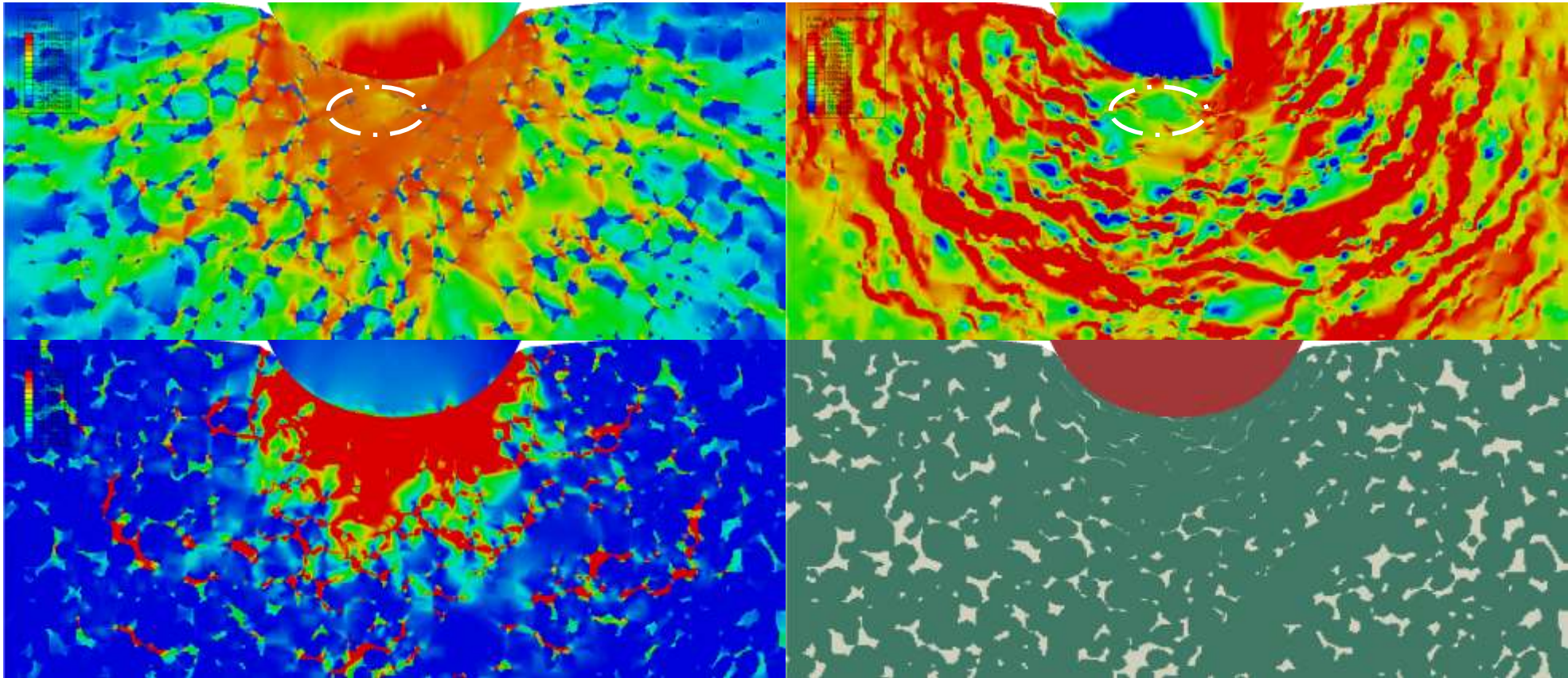


Equivalent plastic strain during impact. 18

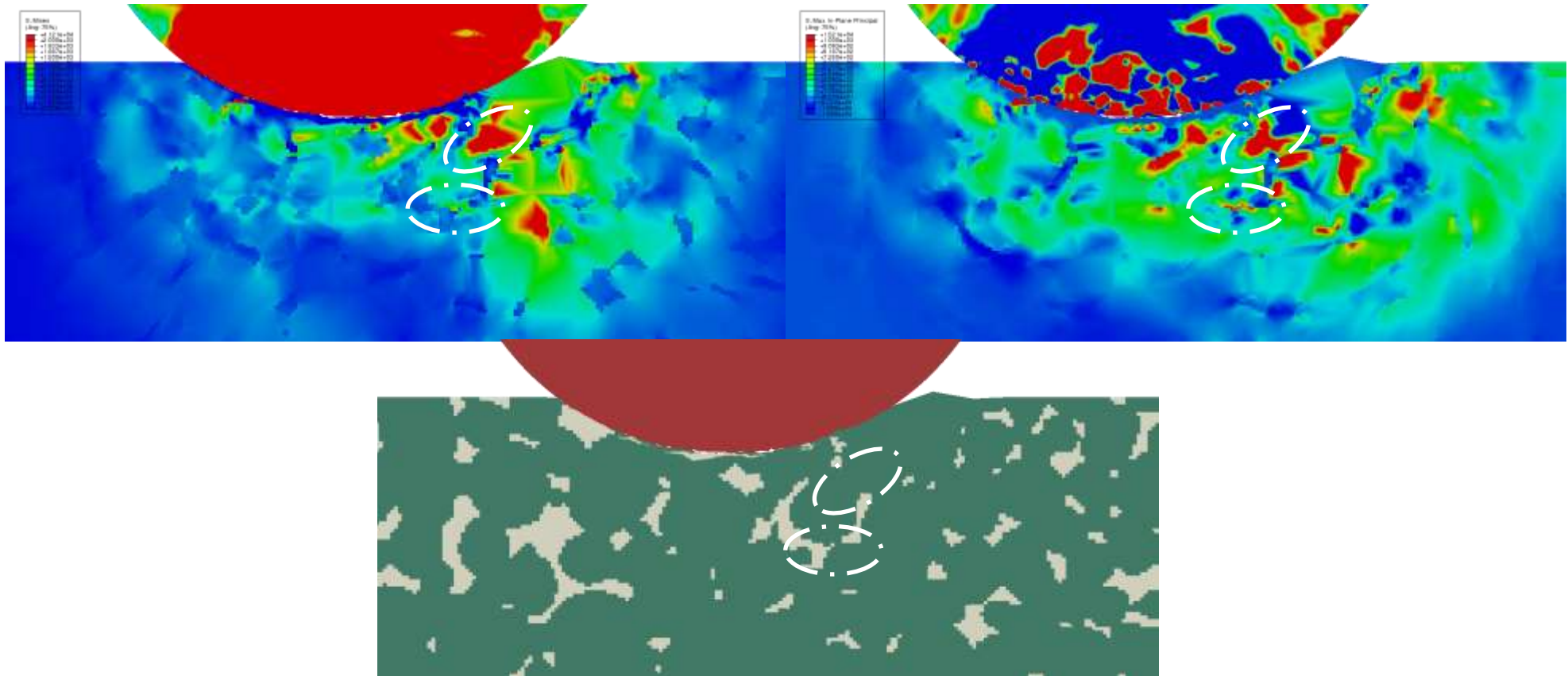
Analysis of deformation, impact velocity 950 m/s



Analysis of deformation, impact velocity 950 m/s

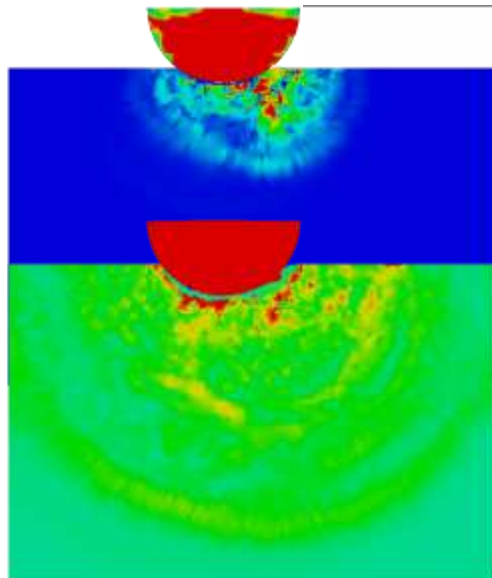


Analysis of failure, impact velocity 950 m/s



Analysis of failure, impact velocity 950 m/s

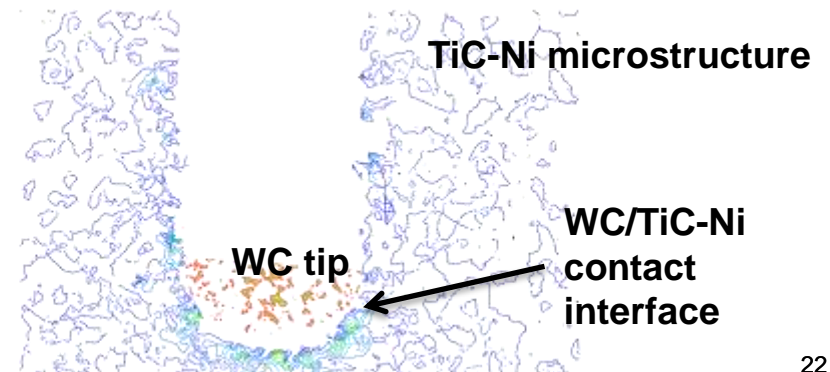
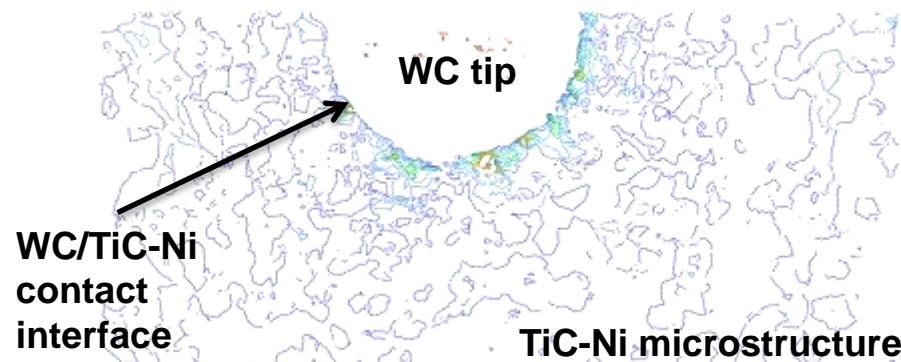
Equivalent stresses during impact. Material failure accounted for using Johnson-Cook plastic strain criterion (phase specific).



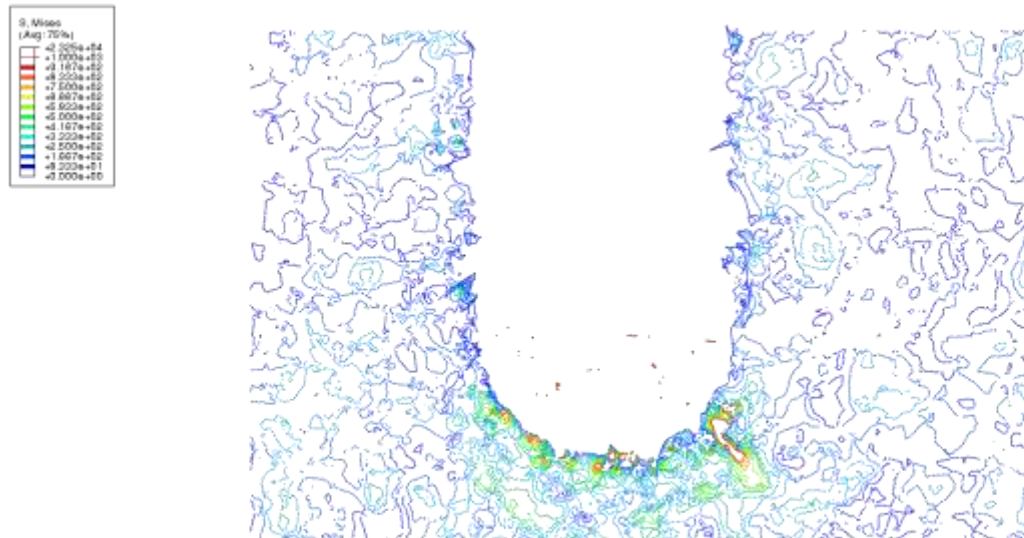
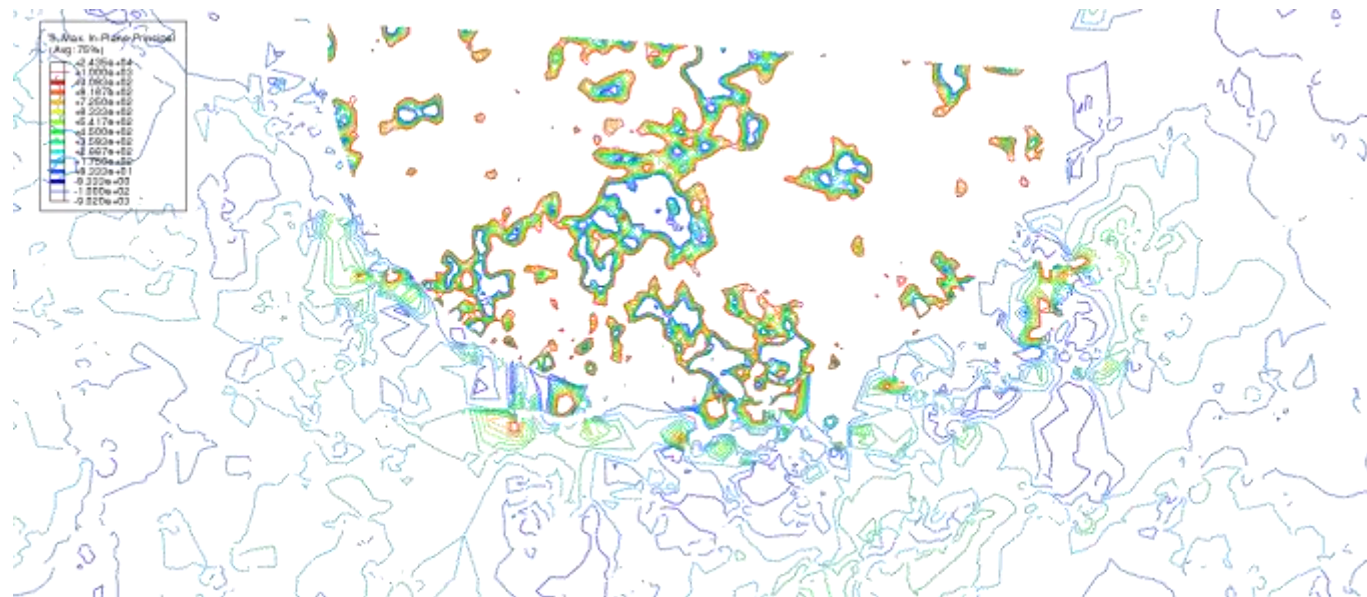
WC tip

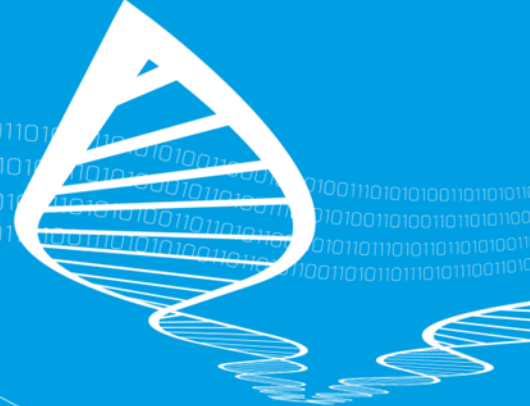
TiC-Ni
microstructure

WC tip
fracturing the
TiC-Ni
microstructure



Analysis of failure, impact velocity 950 m/s





Manufacturing

**Material
performance**

**Data
management**

Lifetime management

ProperTune[®]

**VTT ProperTune[™] is a modelling
tool for future material design**

**Material
science**

**Numerical
modelling**

<http://www.vttresearch.com/proper tune>