

Metalliseosten käyttäytyminen erittäin suurilla muodonmuutosnopeuksilla: tutkimustekniikoiden kehittäminen ja soveltaminen ballistisiin materiaaleihin

Jari Rämö, tutkijatohtori

Tampereen yliopiston Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta

Puolustusvoimien tutkimuslaitos

Matinen-rahoitus: 198338 €

Kesto 2 vuotta, valmis

Tutkimusorganisaatio:

**Hankkeen vastuullinen johtaja
Professori Mikko Hokka**

Tutkijatohtori Jari Rämö

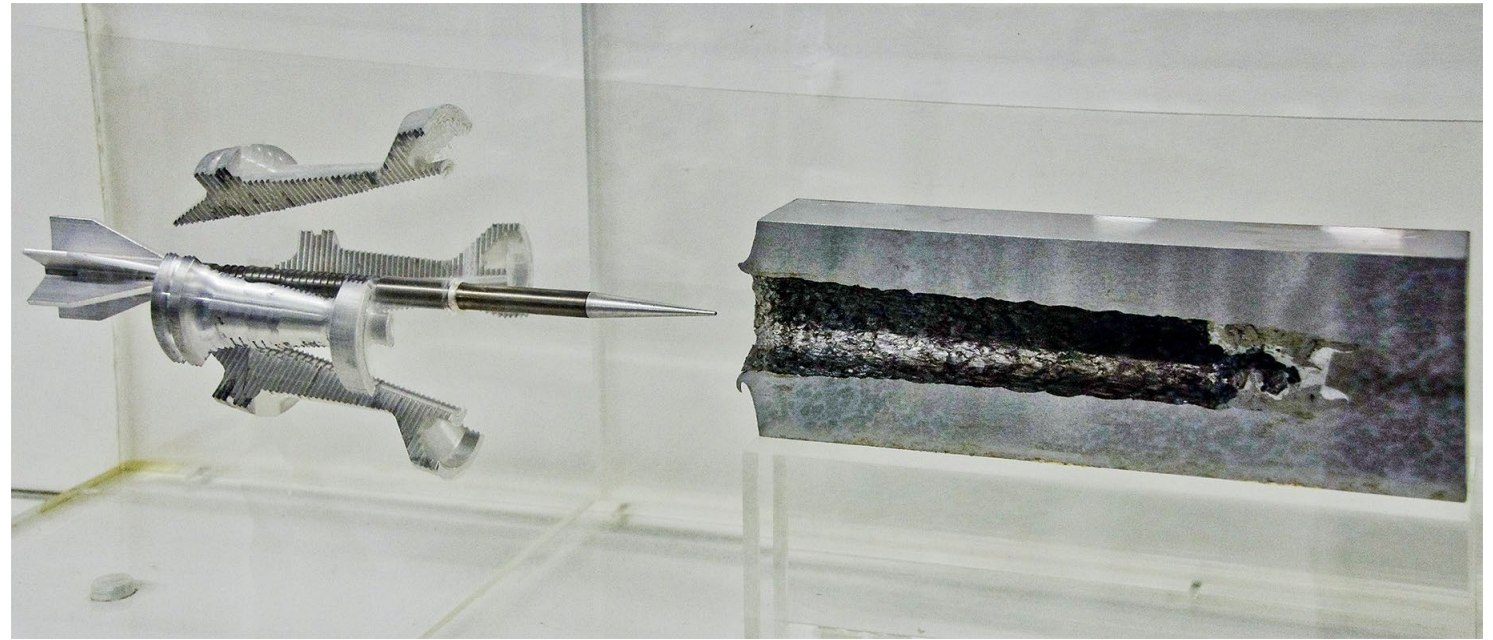
Professori Pasi Peura

Professori Veli-Tapani Kuokkala

**Tampereen yliopisto
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Materiaalitekniikan ja ympäristötekniikan yksikkö**

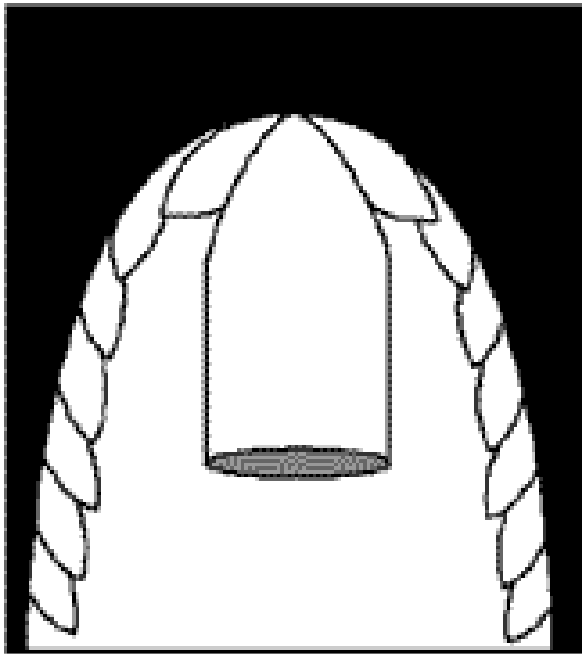
**Vanhempi tutkija DI Timo Erkkilä
Puolustusvoimien tutkimuslaitos (Asetekniikanosasto/ Asejärjestelmät)**

Kinettisen energian ammukset (KE)

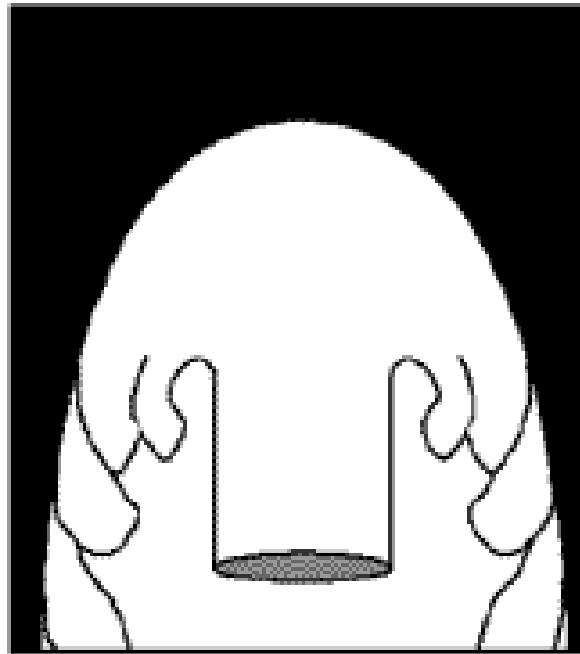


- Lämpäisy perustuu yleensä jo lähdössä saatuun kineettiseen energiaan.
- Ruutiammusten lähtönopeudet on 0,5-1,5 km/s.
- Nuoliammusten nopeus tämän vaihteluvälin yläpäästä.
- Ammuksen läpäisy tapahtumassa esiintyy suuria muodonmuutosnopeuksia: tyypillisesti 10^4 - 10^5 s⁻¹, voi nousta 10^6 - 10^7 s⁻¹ asti.
- Panssarointien läpäisyyn käytetään mm. volframiseoksesta (WHA) valmistettuja kineettisen energian ammuksia.

Itsestään teroittuminen



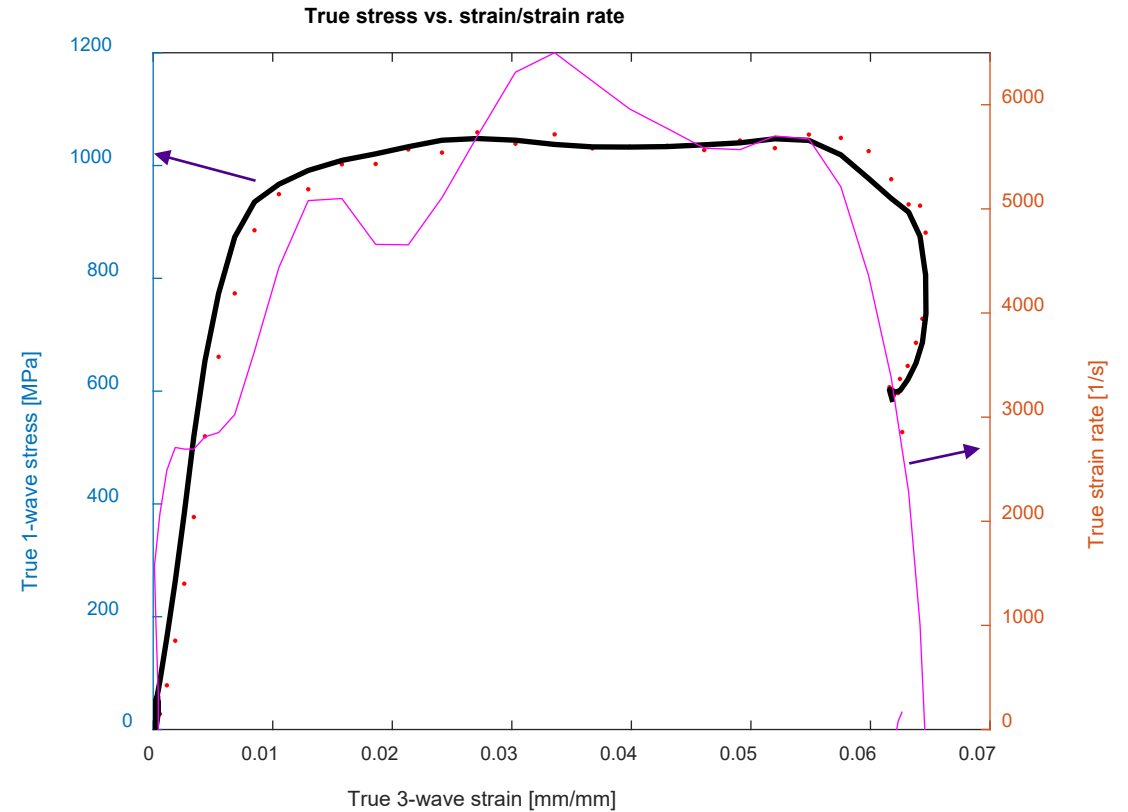
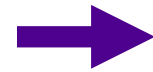
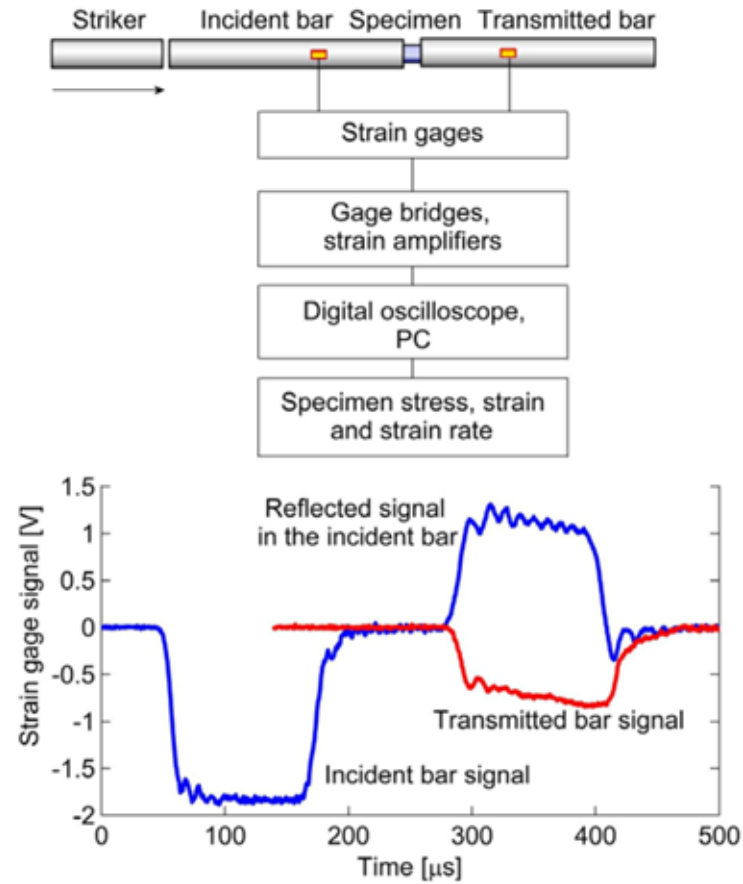
(a)



(b)

- Itsestään teroittuminen edistää KE-ammuksen etenemistä.
- Ammuksen kärkeen muodostuu adiabaattisia liukunauhoja (ABS).
- (a): tyypillistä köyhdytetylle uraanille (DU).
- (b): WHA:lla ABS syntyy myöhemmin ja kärjestä tulee sienimäinen.
- Eri WHA-tyyppien välillä eroja.

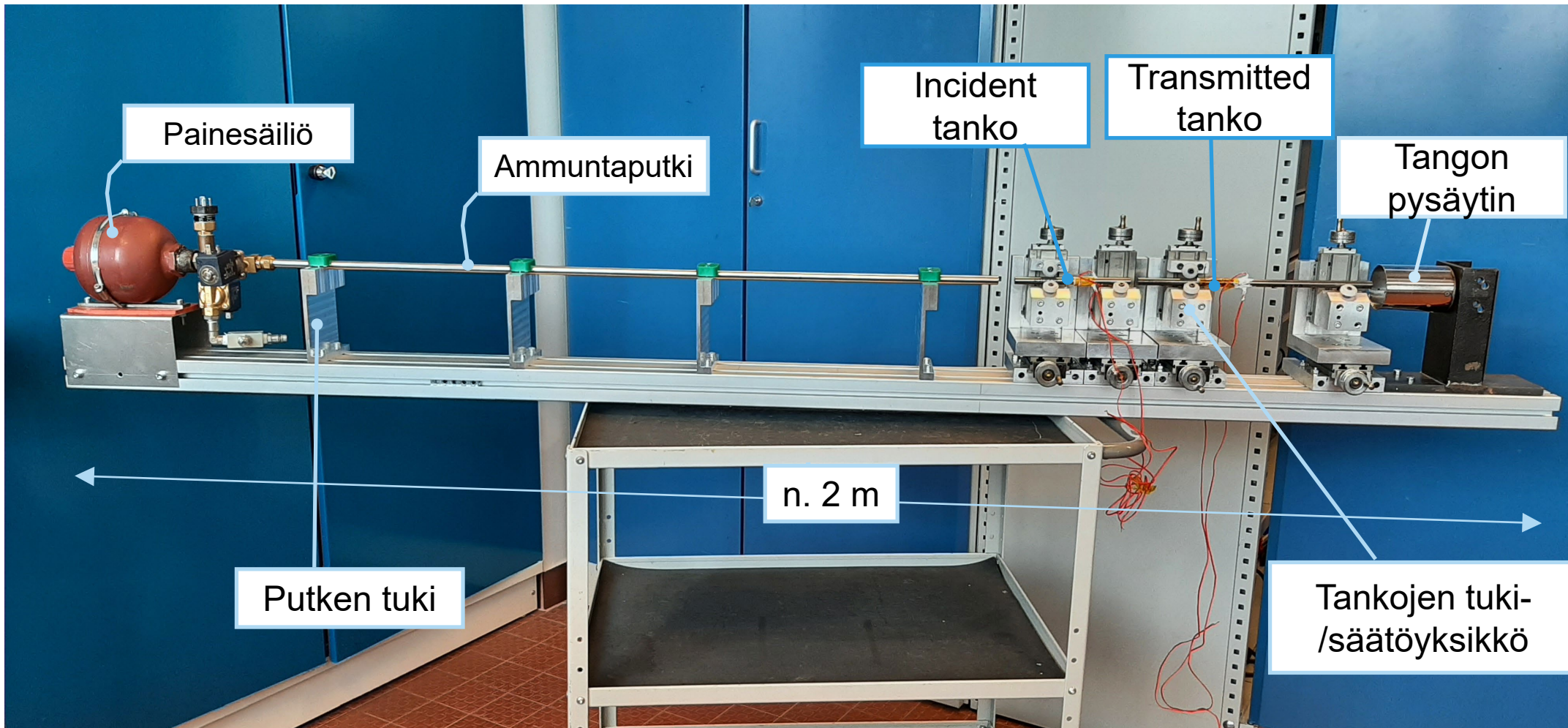
Split Hopkinson Pressure Bar -tutkimusmetelmä



Suuremmat muodonmuutosnopeudet

- SHPB:lla päästään yleensä muodonmuutosnopeudessa enimmillään noin 9000 s^{-1} .
- KE-ammuksen tapauksessa nopeudet korkeampia
- Tarvitaan nopeampi tutkimusmetelmä.
- WHA:ssa adiabaattiset liukunauha eivät muodostu helposti
- Eri WHA-tyyppien välillä eroja.

Mini Split Hopkinson bar: putken sisähalkaisija, striker ja tangot 10 mm

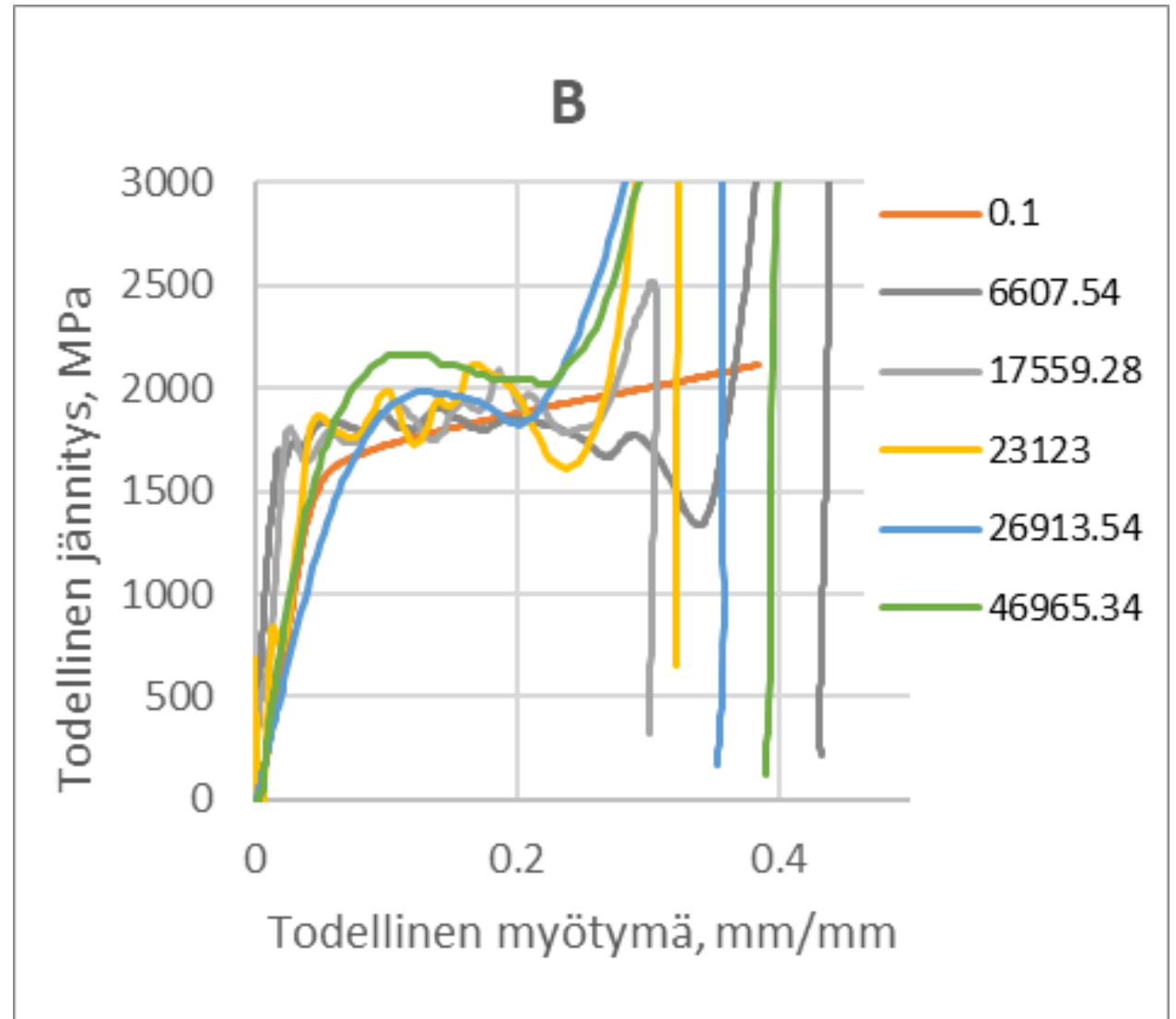


Koko laitteisto



Myötymä-jännitys –käyrät materiaalille B eri myötönopeuksilla

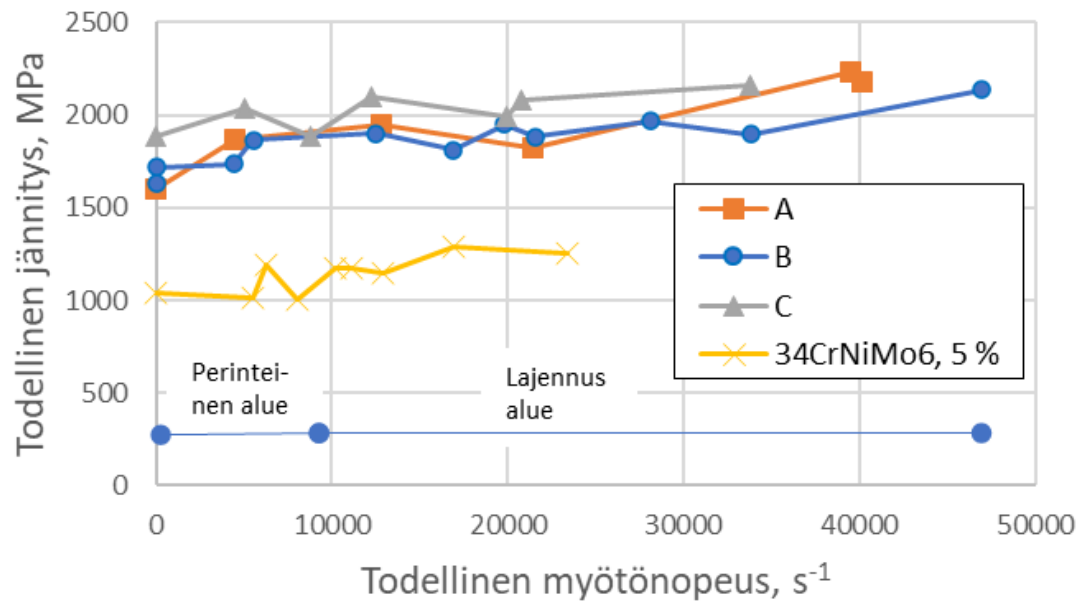
Äkillinen nousu jännityksessä myötymän
loppupuolella johtuu myötymän pysäyttimestä.



Myötönnopeuden vaikutus

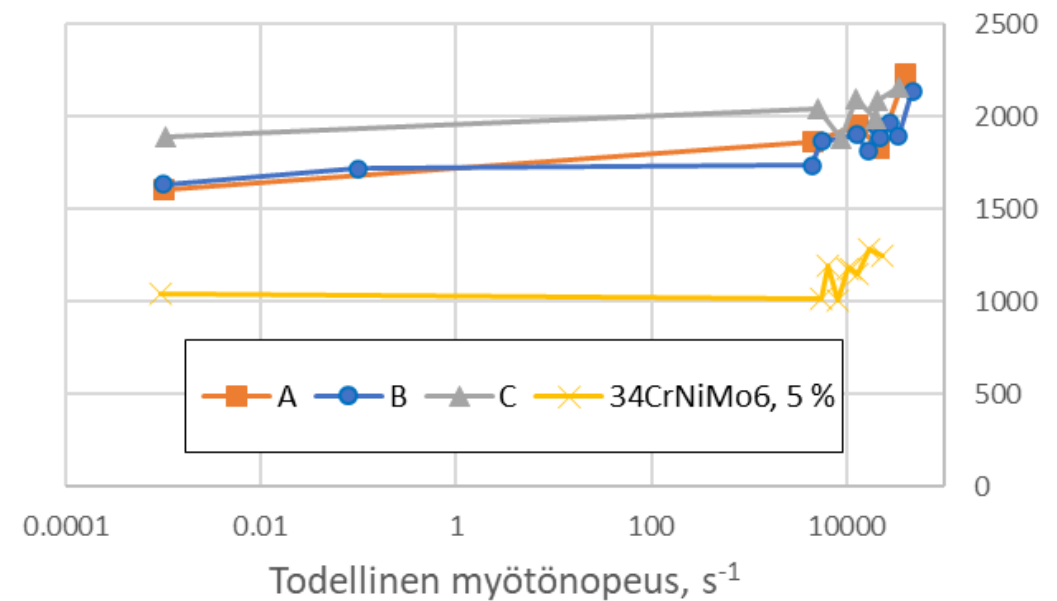
Vasemmalla perinteisellä SHPB saavutettavat myötönnopeudet ja oikealla tämän projektin aikana rakennetulla “mini Hopinsonilla” saadut myötönnopeudet

Myötönnopeus-jännitys, myötymällä 10 %



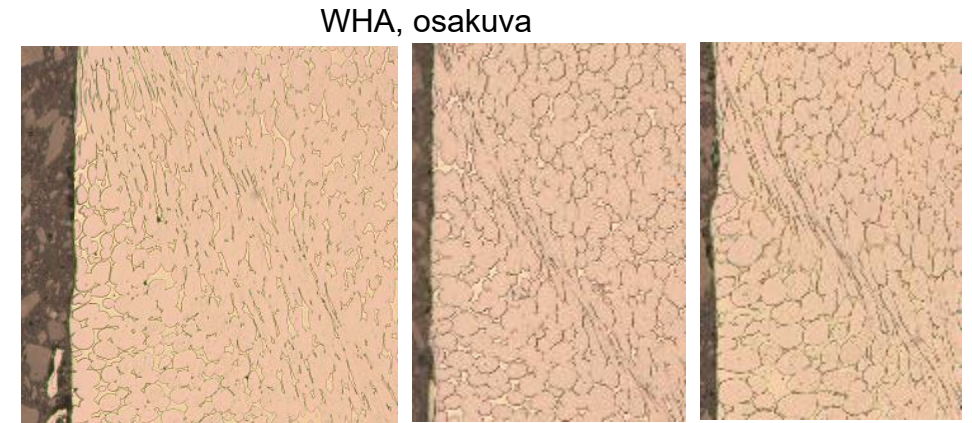
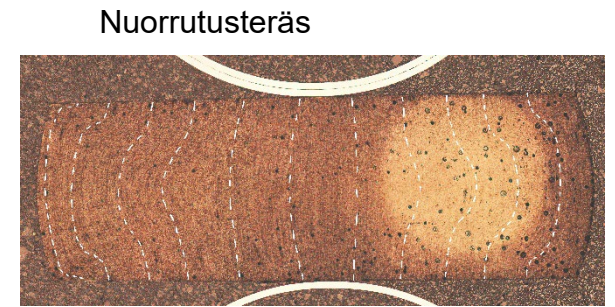
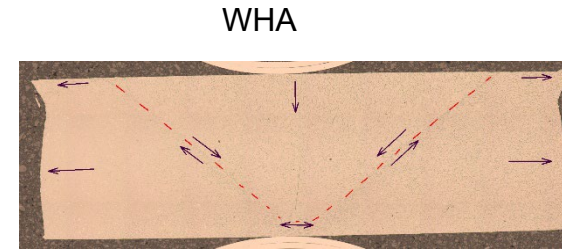
Logaritmisella asteikolla nähdään tyypillinen myötönnopeus-lujuus –käyrä: ensin on suora loiva nousu ja sitten jossain nopeudessa, tässä tapauksessa vähän ennen nopeutta 10⁴ s⁻¹, nousu muuttuu jyrkemmäksi.

Myötönnopeus-jännitys, myötymällä 10 %



Adiabaattiset liukunauhat

- Kahdenlaista muokkautumista: liukunauhat ja tynnyröityminen
- WHA:han adiabaattisia liukunauhoja muodostuu puristusnäytteisiin nopeassa muodonmuutoksessa (pieni näyte poikkeus).
- Nuorrutusteräs tynnyröityy kaikissa tutkituissa nopeuksissa ja WHA hitaissa nopeuksissa.
- Muodonmuutosnopeuden pitää olla suuri.
- Suurempi näytteen koko edistää liukunauhojen muodostumista -> leikkauspintojen välinen liike suurempi.
- Kitka näytteen ja puristavan tangon välissä edistää liukunauhojen muodostusta.
- Siis toisaalta näytteen lyhentäminen suurentaa muodonmuutosnopeuden kasvun myötä adiabaattisten liukunauhojen mahdollisuutta muodostua, mutta leikkauspintojen keskinäisen liikkeen lyhentymisen heikentää niiden mahdollisuutta kehittyä.



- WHA
- Pieni näyte
- Muokattu 40 %
- Puristettu pystysuunnassa
- 50000 s⁻¹

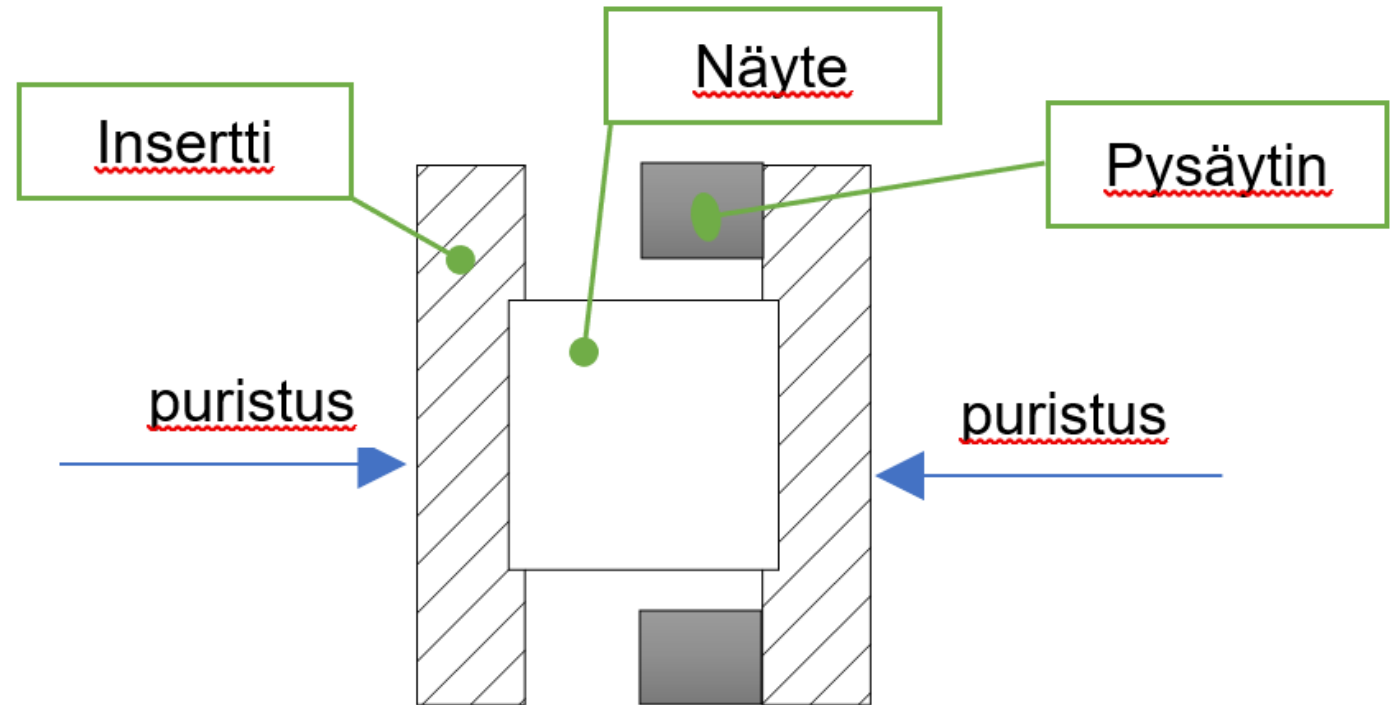
Menetelmä adiabaattisten liukunauhojen testaamiseen

Näyte tulee kahden kiekon väliin, jossa on näytteen kokoinen matala upotus, 0,2-0,3 mm.

Väliin tulee myös pysäytysrengas, joka pysäyttää muodonmuutoksen haluttuun määrään.

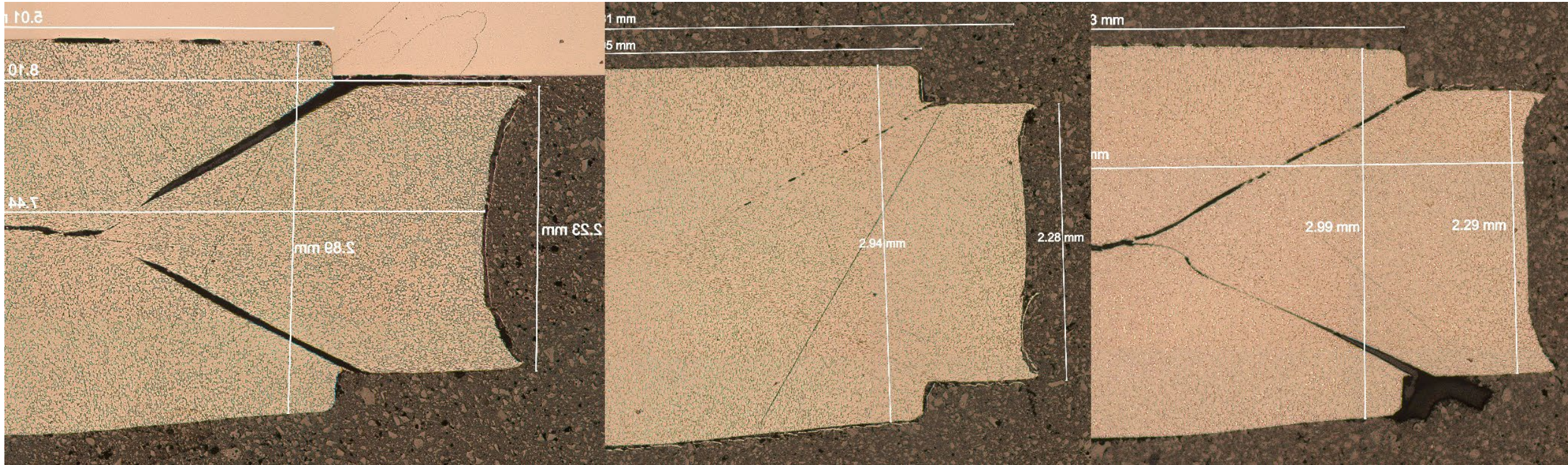
Koko paketti tulee “mini Hopkinson” tankojen väliin.

Muistuttaa tilannetta, jossa hyvin suuri kitka.



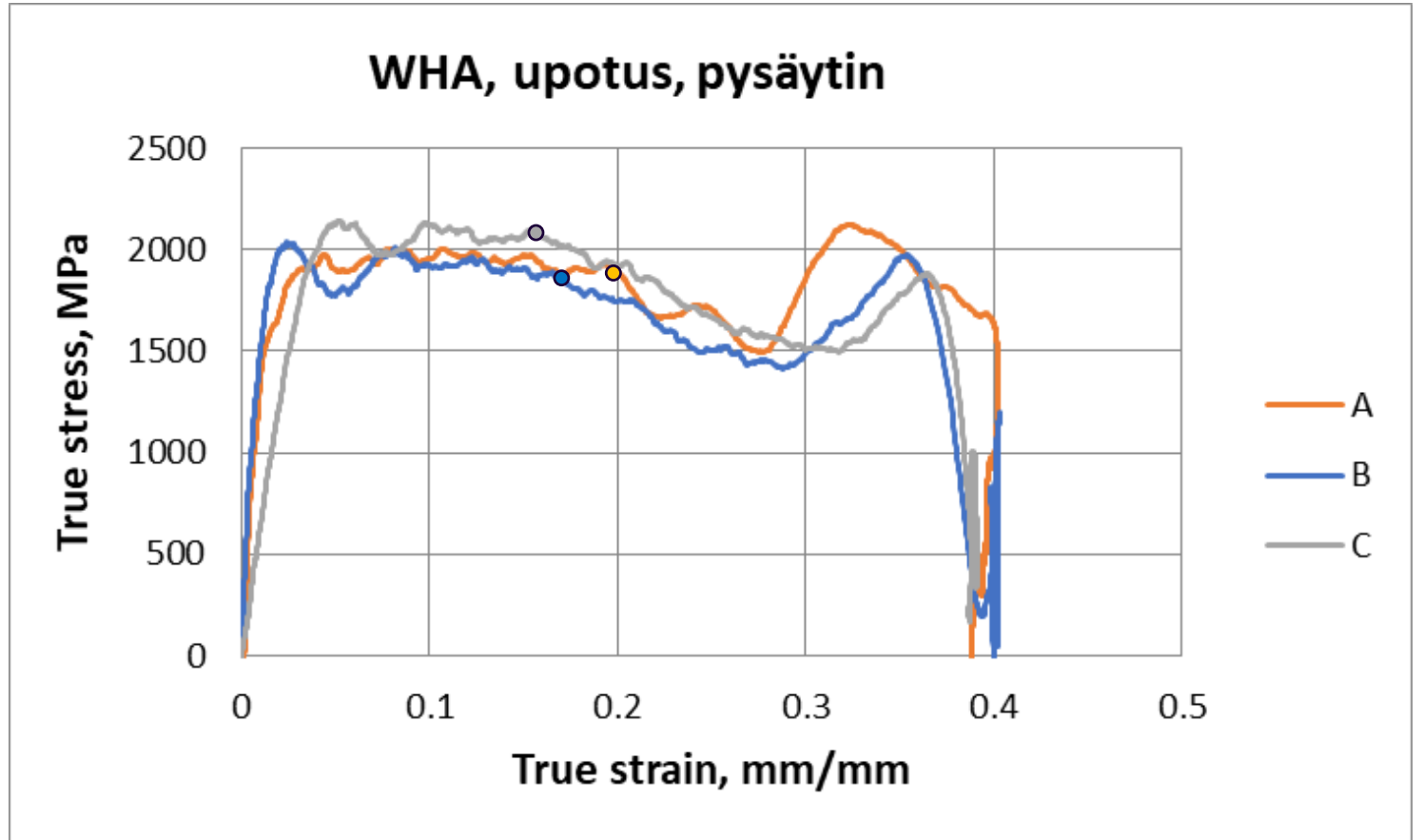
Menetelmä adiabaattisten liukunauhojen testaamiseen

Poikkileikkaushieet näytteissä B, A ja C (vasemmalta oikealle).



Adiabaattisten liukunauhojen testaus

- Jännityksen lasku tarkoittaa sitä, että liukunauha on muodostunut.
- Mitä aikaisemmin adiabaattinen liukunauha alkaa, sen parempi.
- Paremmuusjärjestys: C, B ja A.



Kiitos!