Академија инжењерских наука Србије
АИНС
1998 -2017
Одељење машинских наука

Зборник предавања

одржаних у периоду 2011-2015.

Проф. др Мирољуб Аџић и Проф. др Бошко Рашуо (Едитори)

Београд, 2017.

Академија инжењерских наука Србије - АИНС
Одељење машинских наука

Зборник предавања

одржаних у периоду 2011-2015.

Проф. др Мирољуб Аџић и Проф. др Бошко Рашуо (Едитори)

Београд, 2017.

Академија инжењерских наука Србије,
Одељење машинских наука

За издавача:

Проф. др Бранко Ковачевић,
Председник Академије инжењерских наука Србије,

Проф. др Милош Недељковић, Секретар одељења машинских наука,

Проф. др Бошко Рашуо,
Председник Међуодељенског Одбора за публикације Академије инжењерских наука Србије

Садржај

Termohidrauličke analize prelaznih procesa u energetskim postrojenjima

Vladimir Stevanović
dopisni član AINS
Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu

Uvod

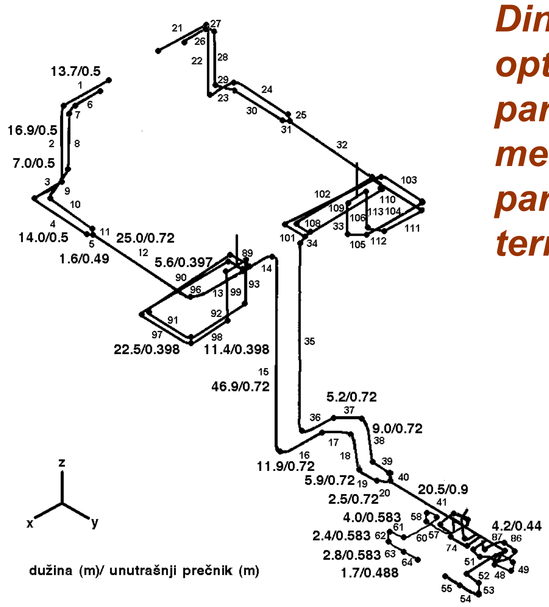
- **Prelazni procesi ≡ nestacionarni režimi**
- **Značaj prelaznih procesa:**
  - **Sigurnost postrojenja i bezbednost okoline**
  - **Upravljanje procesom → pouzdanost i ekonomičnost rada**
- **Fenomeni:**
  - **Dinamičke sile**
  - **Hidraulički udar**
  - **Kriza razmene toplote**
  - **Akumulacija radiolitičkog gasa**
  - **Prelazni režimi toplovoda**
- **Primeri:**
  - **Parovodi termoelektrana**
  - **Sistem napojne vode**
  - **Nuklearni generator pare**
  - **Parovod sigurnosnog sistema nuklearne elektrane**
  - **Toplovodna mreža**
- **Zaključak**

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 2

- ***Dinamičke sile u parovodima termoelektrana***
- Hidraulički udar u dvofaznim sistemima
- Akumulacija radiolitičkog gasa
- “Zasušenje” nuklearnog generatora pare
- Prelazni proces u toplovodnoj mreži
- Dinamika rada akumulatora pare

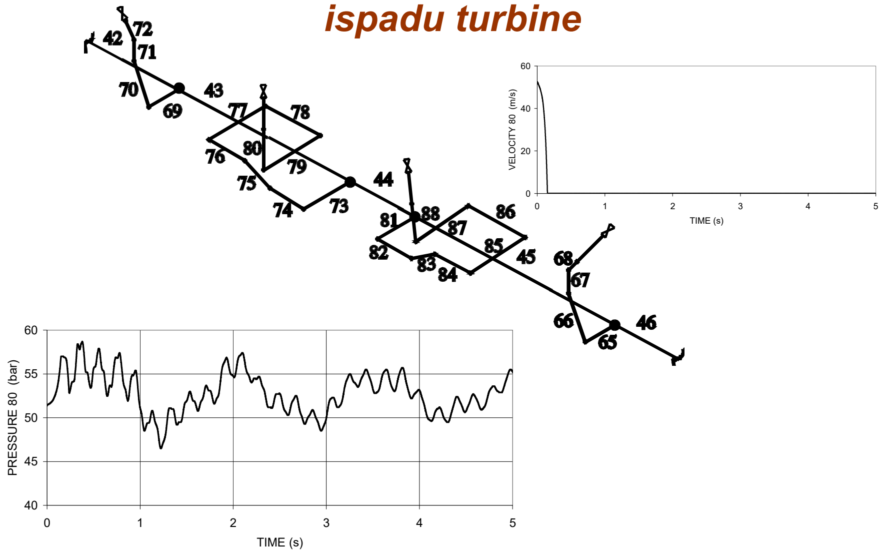
18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 3

Dinamička opterećenja u parovodu međupregrejane pare na termoelektrani



18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 4

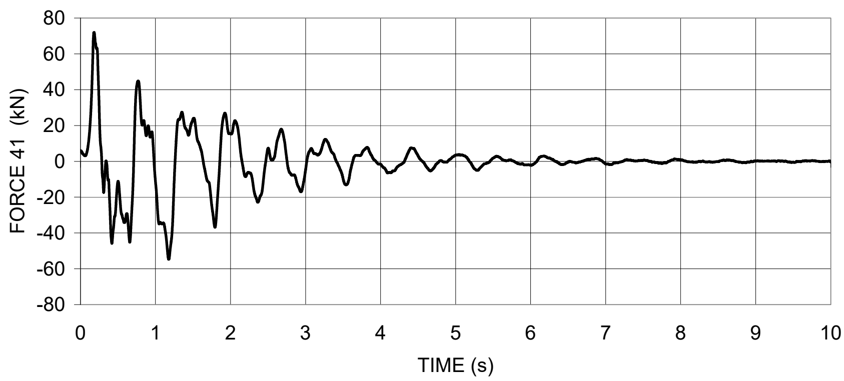
Brzina i pritisak ispred pregradnog ventila pri ispadu turbine



Stevanović, V. i dr., Numerička simulacija dinamičkih opterećenja parovoda termoelektrane "Nikola Tesla B", Termotehnika, 1-3 (2003) 51-55.

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 5

Dinamička sila

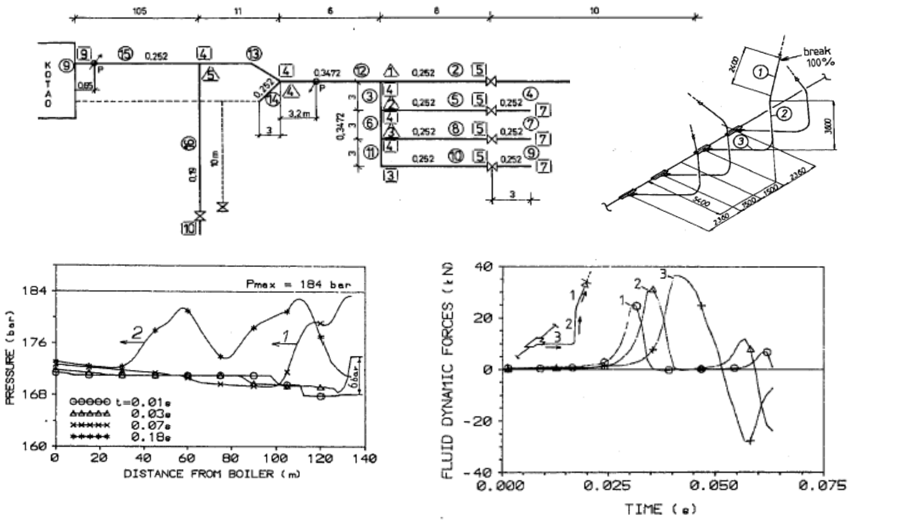


Ulazni podatak za projektovanje parovoda

Stevanović, V. i dr., Numerička simulacija dinamičkih opterećenja parovoda termoelektrane "Nikola Tesla B", Termotehnika, 1-3 (2003) 51-55.

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 6

Lom parovoda sveže pare



Stevanovic, V., et al., Simulation and Analysis of a Main Steam Line Transient with Isolation Valves Closure and subsequent Pipe Break, Int. J. Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, 4 (1994) 387-398.

Hidraulički udar u jednofaznom sistemu

Jednodimenziono nestacionarno strujanje kompresibilnog fluida

Procena promene pritiska sa brzinom

$$\Delta p = \rho c \Delta u$$

•gde je brzina u (m/s), gustina ρ (kg/m^3), brzina zvuka c (m/s) i pritisak p (Pa)

Za strujanje vode

$$\Delta p = 10^3 \left(kg/m^3\right) \cdot 10^3 \left(m/s\right) \cdot 2 \left(m/s\right) = 2\,MPa$$

Za strujanje pregrejane pare na 5 MPa i 540 ^oC

$$\Delta p = 14 \left(kg/m^3\right) \cdot 500 \left(m/s\right) \cdot 50 \left(m/s\right) = 0.35 MPa$$

- Dinamičke sile u parovodima termoelektrana
- **Hidraulički udar u dvofaznim sistemima**
- Akumulacija radiolitičkog gasa
- "Zasušenje" nuklearnog generatora pare
- Prelazni proces u toplovodnoj mreži
- Dinamika rada akumulatora pare

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 9

Posledice hidrauličkog udara u dvofaznim sistemima (1/2)

Manhattan, New York jula 2007.

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 10

Posledice hidrauličkog udara u dvofaznim sistemima (2/2)

Manhattan, New York jula 2007.

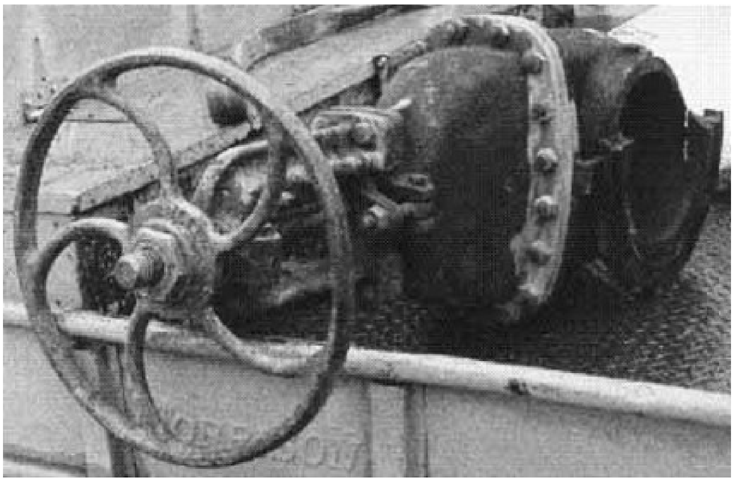
Jedan radnik je poginuo i dvoje je zadobilo ozbiljne opekotine radeći u ventilskom šahtu u okviru sistema parnog daljinskog grejanja usled pucanja parovoda pečnika 600 mm. Na ulici je jedan prolaznik preminuo od srčanog udara, a nekoliko ih je lakše ozleđeno.

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 11

Polomljen pregradni ventil na parovodu kotla u fabrici šećera usled hidrauličkog udara

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 12

Polomljen ventil u sistemu daljinskog grejanja vojne baze Fort Wainwright na Aljasci usled hidrauličkog udara



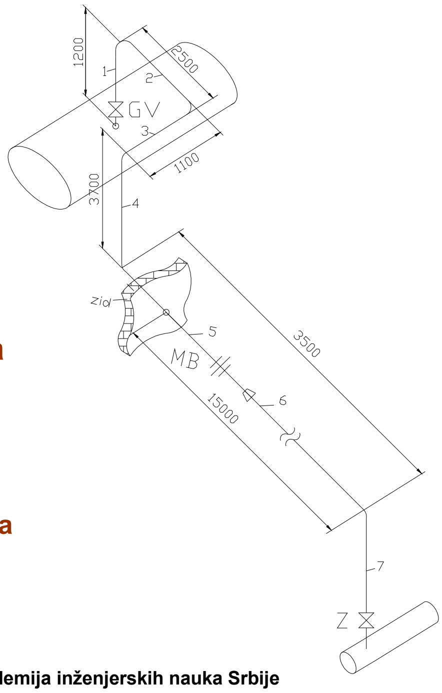
18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 13

Hidraulički udari u dvofaznim sistemima su se dešavali u:

- Termoelektranama
- Kotlarnicama
- Nuklearnim elektranama
- Sistemima daljinskog grejanja
- Rashladnim postrojenjima sa amonijakom
- …

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 14

Industrijski parni kotao

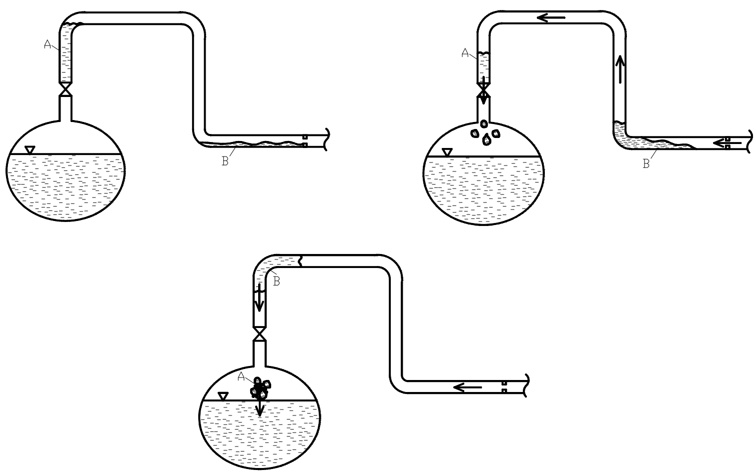


Parovod od parnog kotla do razdelnika

- **kotao je pušten u pogon nakon dužeg zastoja,**
- **na deonici 5 prečnika DN 150 se nalazi merna blenda sa središnjim otvorom 90 mm**

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 15

Nastajanje i udar vodenog čepa



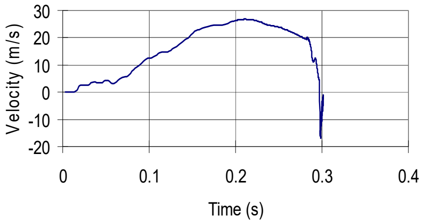
18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 16

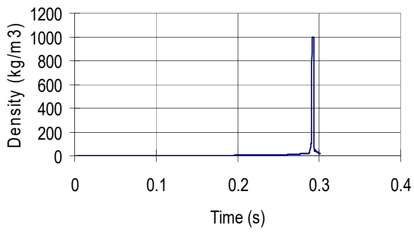
Formiranje vodenog čepa u liniji kondenzata

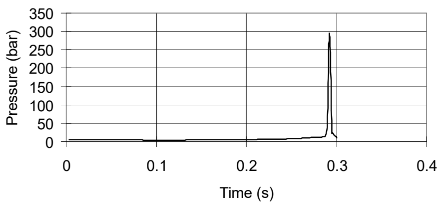
- **Brzina pare je značajno veća od brzine kondenzata**
- **Para stvara talase koji mogu da pregrade ceo protočni presek**
- **Stvoreni čep udara o koleno ili ventil**

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 17

Udar vodenog čepa







$$\Delta p = \rho c \Delta u$$

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 18

Lom pregradnog ventila na izlazu iz kotla

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 19

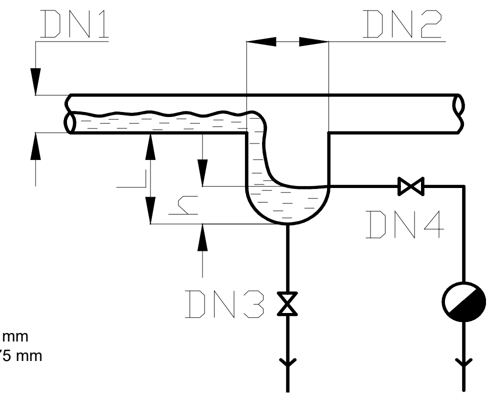
Mere zaštite od udara čepa tečnosti

U cilju sprečavanja udesa neophodne su mere koje dovode do potpune drenaže parovoda. U tu svrhu potrebno je:

- **obezbediti nagib svih horizontalnih deonica u pravcu strujanja pare od 1:100 do 1:200,**
- **obezbediti drenažu ispred kolena kojima se parovod usmerava naviše, ispred pregradnih ventila, na niskim tačkama parovoda, na kraju parovoda i duž parovoda na međusobnim rastojanjima rastojanjima od 25 m do 150 m (zavisno od konfiguracije, izolacije, prečnika...)**
- **po mogućstvu merne blende postaviti na vertikalnim, a ne na horizonatlnim deonicama.**

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 20

Izdvajanje kondenzata iz parovoda

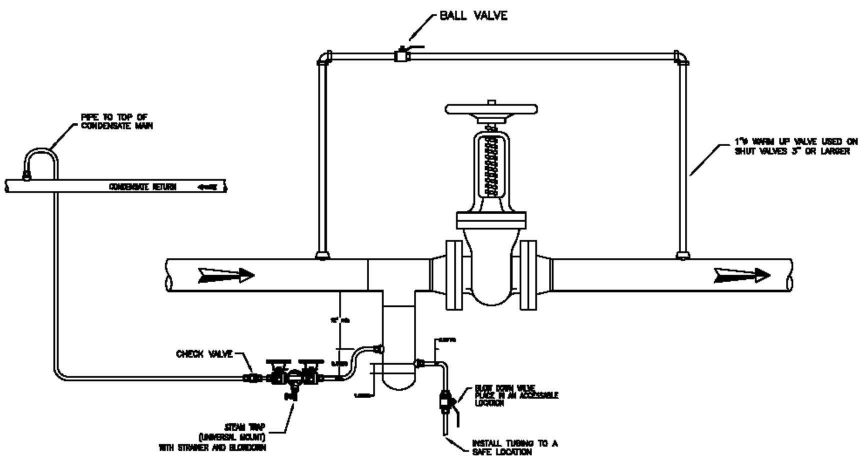


L ≥ 250 mm
h = 75 mm

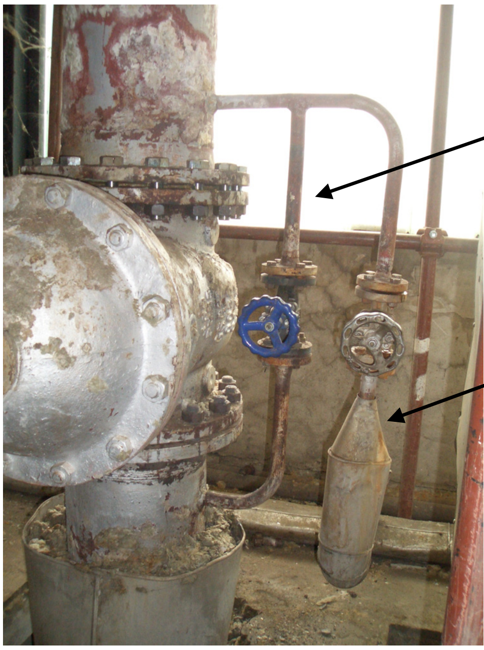
DN_1	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500
DN_2	50	65	80	80	80	100	150	150	200	200	200	250	250
DN_3	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
DN_4	20	25	25	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 21

Drenaža i zaobilazni vod na mestu pregradnog ventila

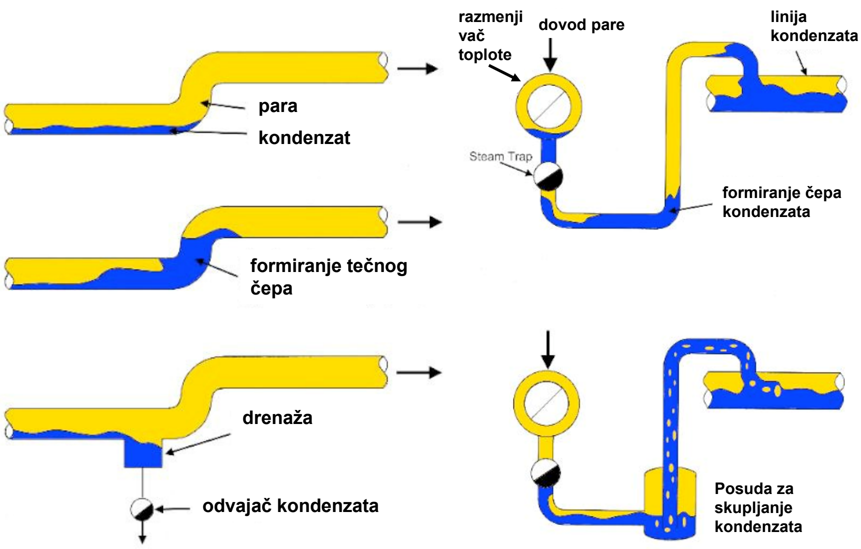


18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 22



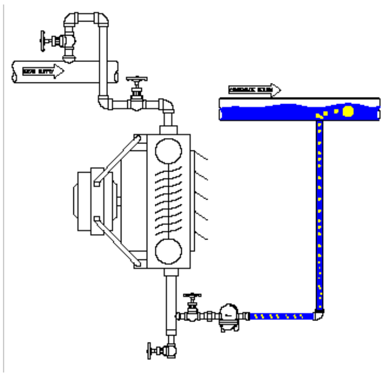
18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 23

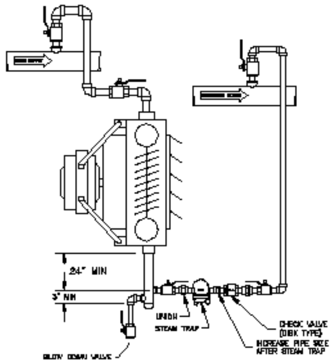
Lokacije drenaža



18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 24

Vraćanje kondenzata iz parnog zagrejača u liniju kondenzata

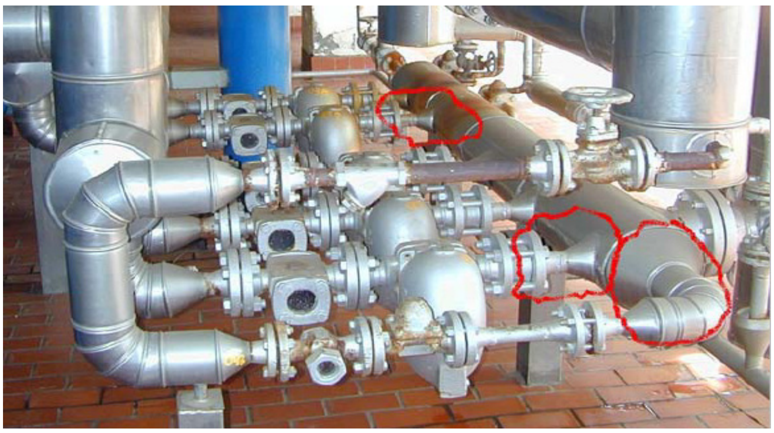




pogrešno **ispravno**

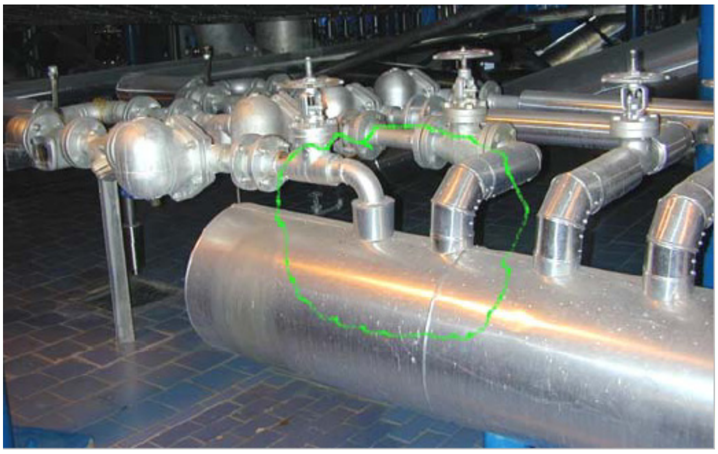
18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 25

Pogrešno priključenje na kolektor kondenzata



18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 26

Ispravno priključenje na kolektor kondenzata



18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 27

Odnos specifičnih zapremina parne i tečne faze

p = 1 bar

$v'(1\ \text{bar}) = 0{,}0010434\ \dfrac{\text{m}^3}{\text{kg}};\ \rho' = 958\ \dfrac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$v''(1\ \text{bar}) = 1{,}694\ \dfrac{\text{m}^3}{\text{kg}};\ \rho'' = 0{,}59\ \dfrac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

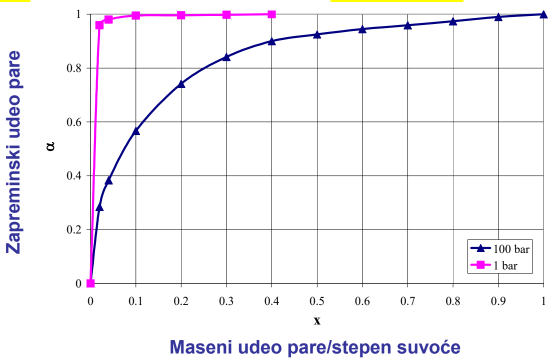
$\dfrac{v''(1bar)}{v'(1bar)} \approx 1600$

p = 100 bar

$v'(100\ \text{bar}) = 0{,}0014526\ \dfrac{\text{m}^3}{\text{kg}};\ \rho' = 688\ \dfrac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

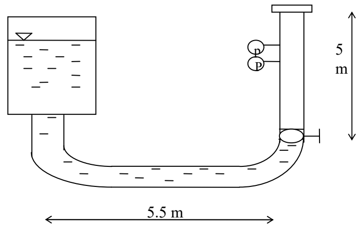
$v''(100\ \text{bar}) = 0{,}01804\ \dfrac{\text{m}^3}{\text{kg}};\ \rho'' = 55\ \dfrac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$\dfrac{v''(100bar)}{v'(100bar)} \approx 12$

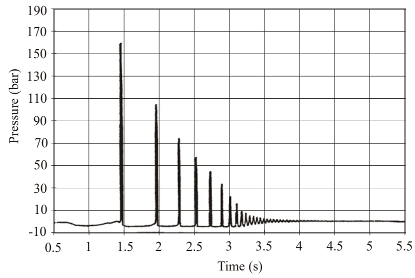


18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 28

Hidraulički udar izazvan intenzivnom kondenzacijom pare (1/2)



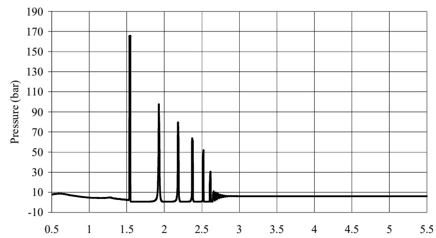
Eksperimentalna instalacija



Izmereni impulsi pritiska (Liu et al, 1997).

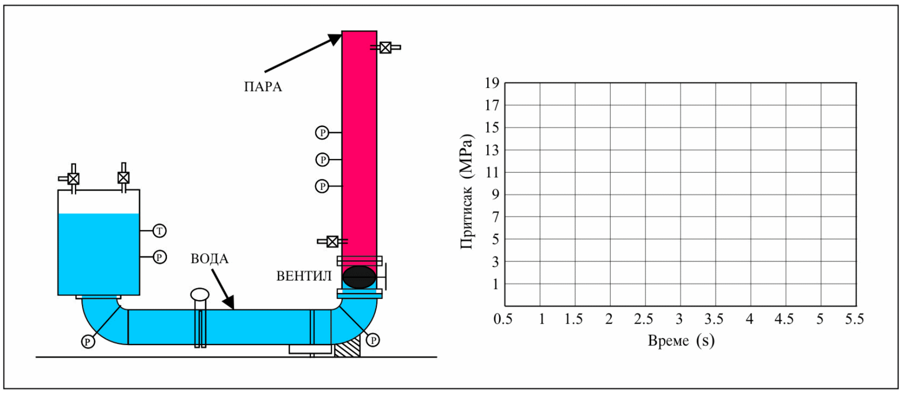
Do udara dolazi nakon dodira pare sa pothlađenom vodom

Sračunati impulsi pritiska



18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 29

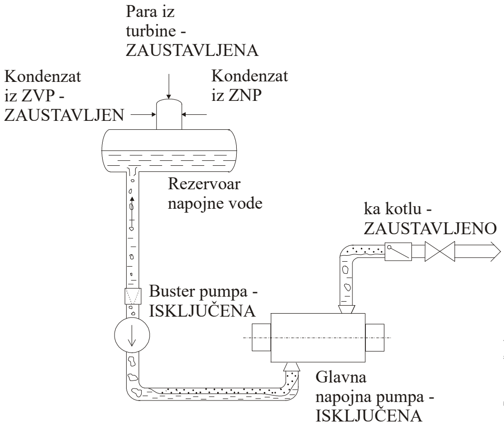
Hidraulički udar izazvan intenzivnom kondenzacijom pare (2/2)



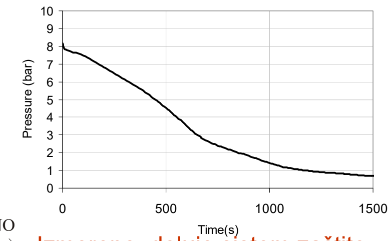
Stevanovic, V., Jovanovic, M., Prica, S., Maslovaric, M., Condensation induced water hammer in thermal plants, Proceedings of the 11th International Conference on Multiphase Flow in Industrial Plants, Palermo, Italy, September 7-10, 2008, pp. 783-790.

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 30

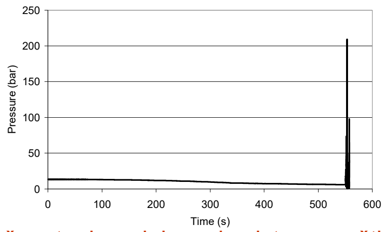
Hidraulički udar izazvan kondenzacijom pare u termoelektrani



Napojni rezervoar i pumpa posle ispada

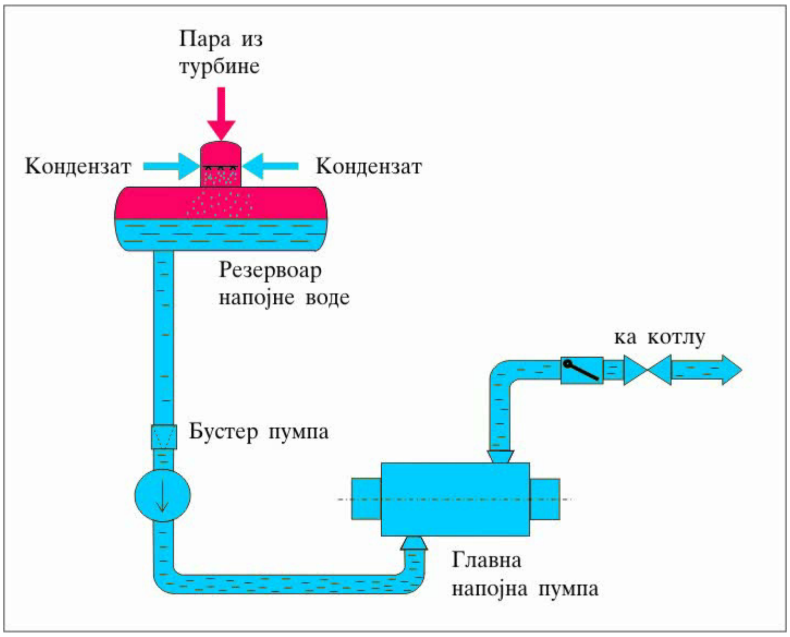


Izmereno, deluje sistem zaštite



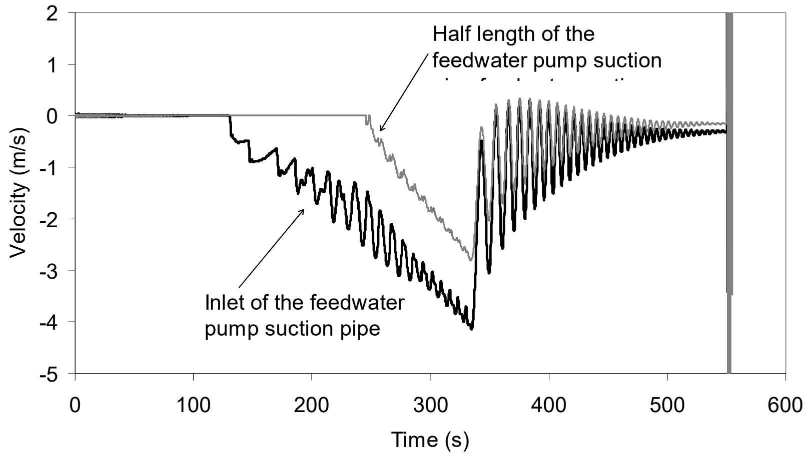
Sračunato, bez delovanja sistema zaštite

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 31



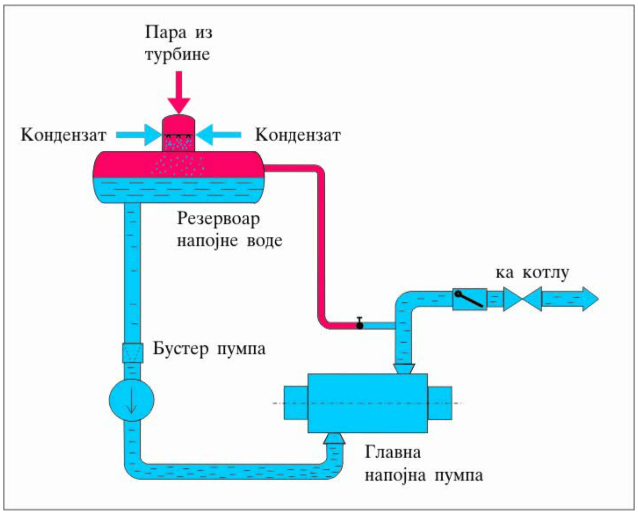
18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 32

Brzina napojne vode u usisnom cevovodu pumpe



18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 33

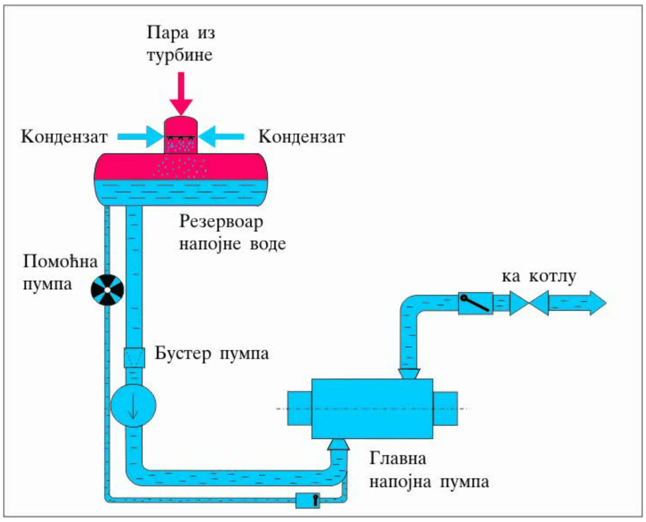
Različite mere zaštite u sistemu napoje vode (1/3)



Ventiliranje napojne pumpe kroz rasteretni parovod ka napojnom rezervoaru

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 34

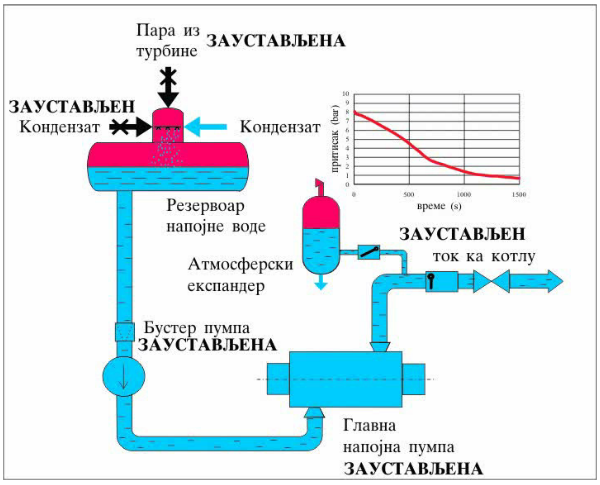
Različite mere zaštite u sistemu napoje vode (2/3)



Pomoćna pumpa obezbeđuje hlađenje usisnog cevovoda i pumpe

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 35

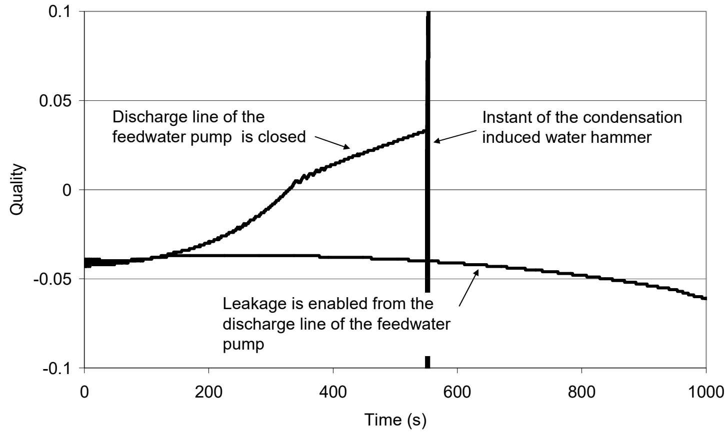
Različite mere zaštite u sistemu napoje vode (3/3)



Isticanje vode iz potisne linije pumpe ka atmosferskom ekspanderu, primenjeno na TE “Nikola Tesla B” (M.Jovanovic, 1994)

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 36

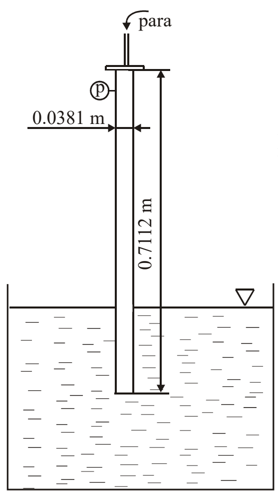
Uticaj nove sigurnosne mere

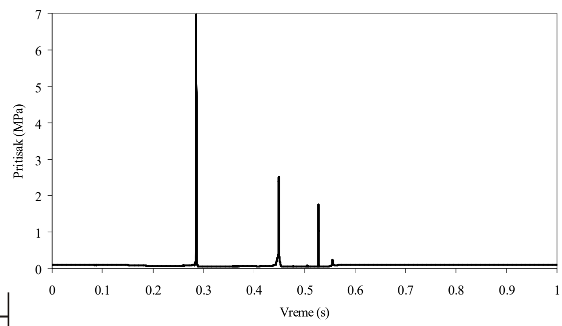


Stepen suvoće na usisu napojne pumpe nakon ispada u slučaju sa i bez delovanja sigurnosne mere

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 37

Uticanje pare u bazen – "vodeni top"





S. Prica, V. Stevanovic, B. Maslovaric, Numerical Simulation of Condensation Induced Water Hammer, FME TRANSACTIONS, 36 (2008) 21-26.

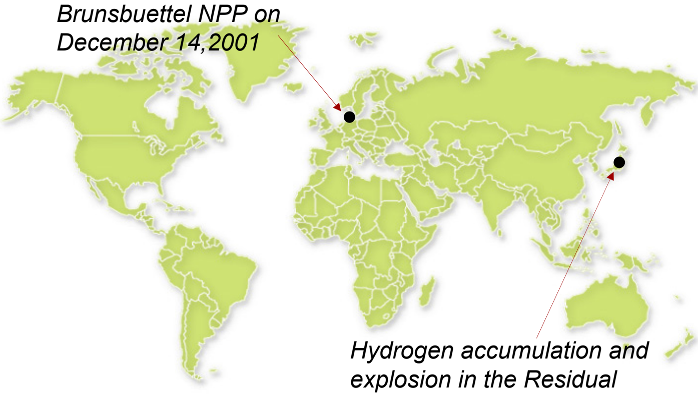
18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 38

- Dinamičke sile u parovodima termoelektrana
- Hidraulički udar u dvofaznim sistemima
- **Akumulacija radiolitičkog gasa**
- "Zasušenje" nuklearnog generatora pare
- Prelazni proces u toplovodnoj mreži
- Dinamika rada akumulatora pare

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 39

Hydrogen incidents

Hydrogen accumulation and explosion in the reactor vessel head spray line of the Brunsbuettel NPP on December 14,2001

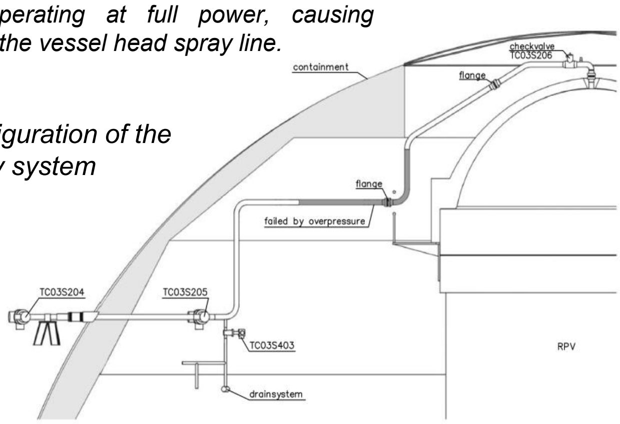


Hydrogen accumulation and explosion in the Residual Heat Removal System of the Hamaoka NPP on November 7,2001

Radiolytic gases accumulation and explosion at the Brunsbuettel NPP

A spontaneous radiolysis gas reaction (ignition of a hydrogen-oxygen mixture) occurred while the plant was operating at full power, causing destruction of the vessel head spray line.

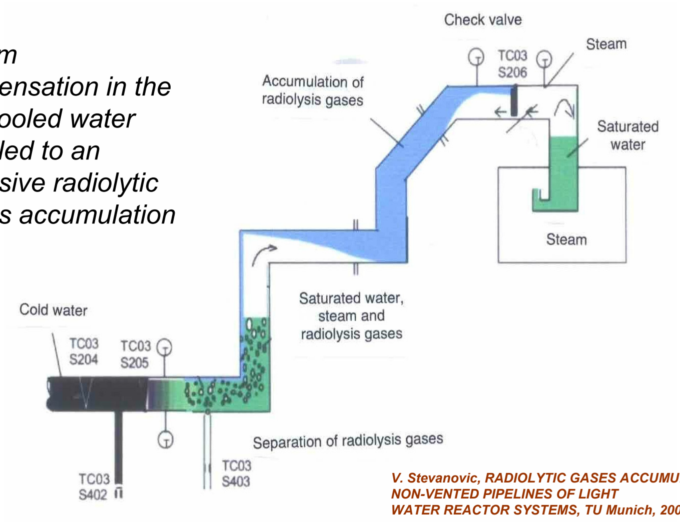
Configuration of the spray system



18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 41

The root of intensive radiolytic gases accumulation at Brunsbuettel NPP

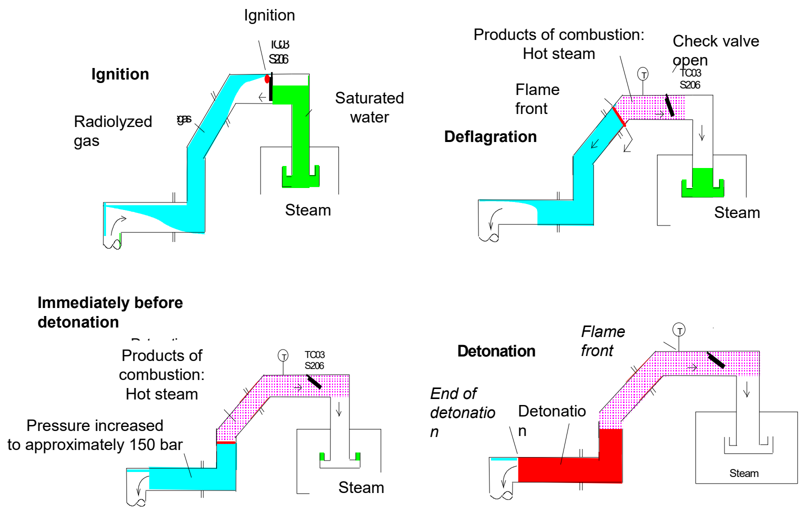
Steam condensation in the subcooled water pool led to an intensive radiolytic gases accumulation



V. Stevanovic, RADIOLYTIC GASES ACCUMULATION IN NON-VENTED PIPELINES OF LIGHT WATER REACTOR SYSTEMS, TU Munich, 2006.

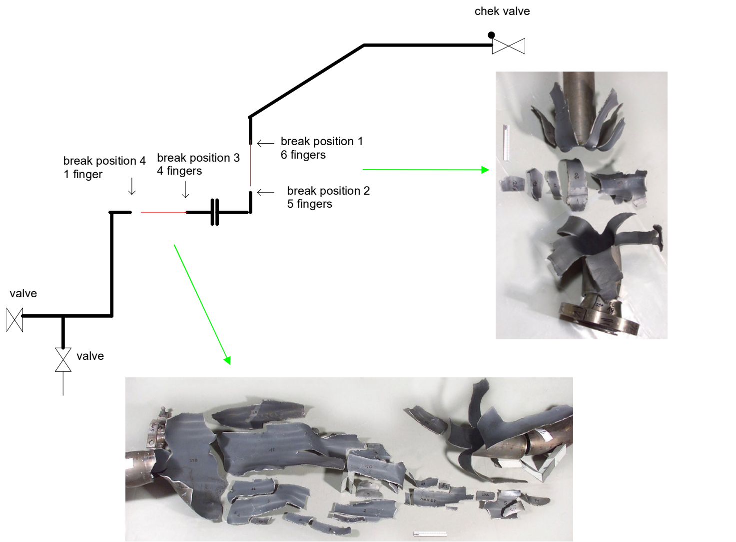
18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 42

Explosion model



18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 43

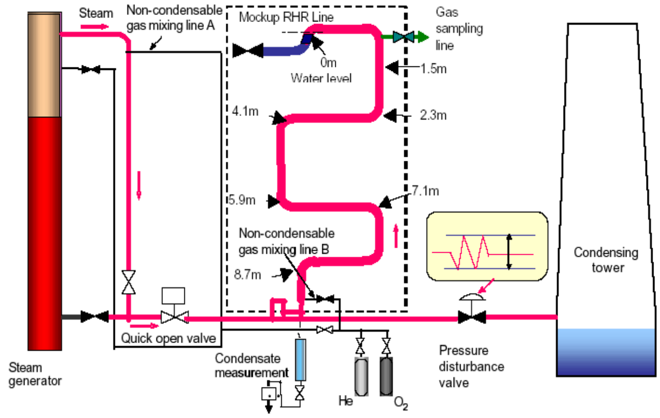
Consequences of the incident at Brunsbuettel NPP



18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 44

Radiolytic gases accumulation and explosion at the Hamaoka NPP

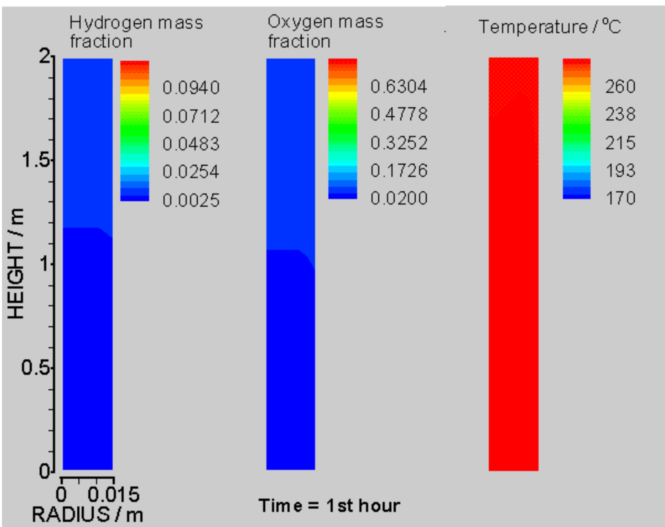
The incident occurred in the Residual Heat Removal System. The reaction was initiated during the surveillance test when high pressure steam flowed into the pipeline with accumulated non-condensable gases.



Full size mock-up pipeline of the RHR.

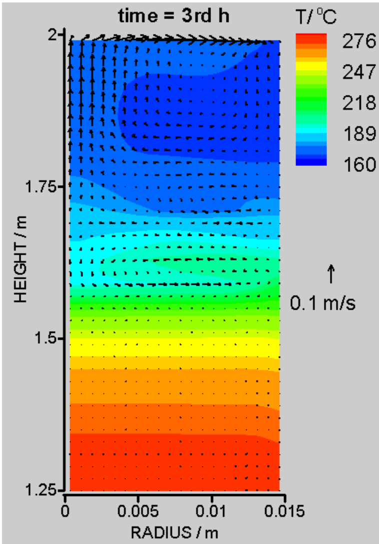
18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 45

Kondenzacija u prisustvu nekondenzujućeg gasa (1/2)

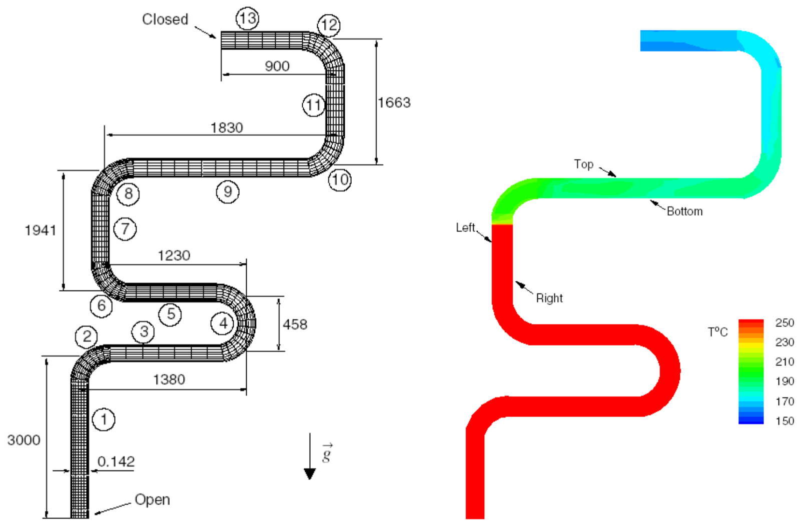


18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 46

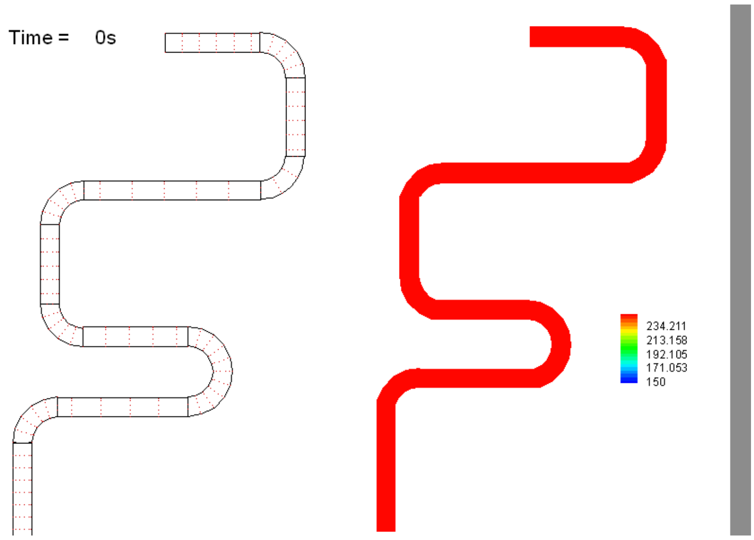
Kondenzacija u prisustvu nekondenzujućeg gasa (1/2)



18 maj 2011. Akademija inženjerskih nauka Srbije 47



Stevanovic, V., Stosic, Z., Stoll, U., Three-dimensional numerical simulation of non-condensables accumulation induced by steam condensation in a non-vented pipeline, Int. J. Heat and Mass Transfer, 49 (2006) 2420-2436.

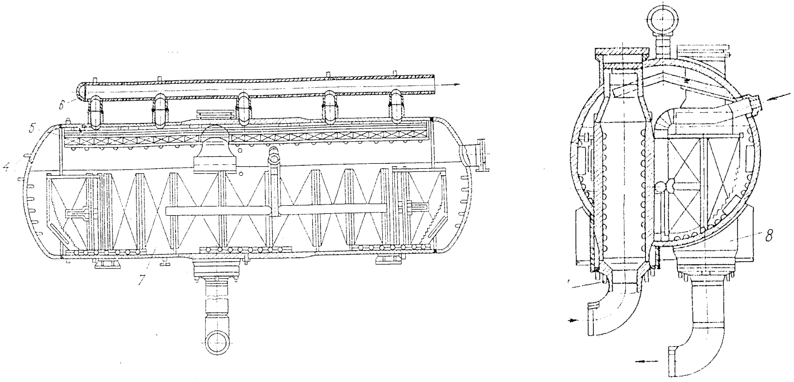


18 maj 2011. Akademija inženjerskih nauka Srbije 49

- Dinamičke sile u parovodima termoelektrana
- Hidraulički udar u dvofaznim sistemima
- Akumulacija radiolitičkog gasa
- ***"Zasušenje" nuklearnog generatora pare***
- Prelazni proces u toplovodnoj mreži
- Dinamika rada akumulatora pare

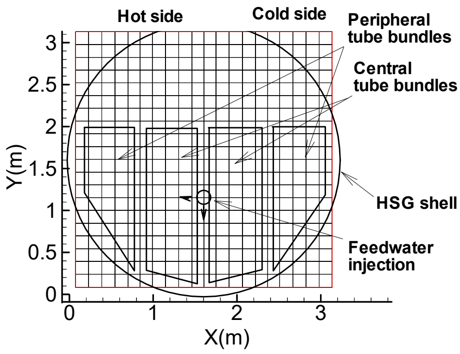
18 maj 2011. Akademija inženjerskih nauka Srbije 50

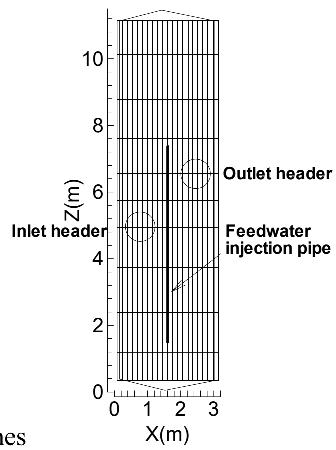
HSG LAYOUT AND DISCRETIZATION (1/2)



Horizontal Steam Generator of the WWER 440

HSG LAYOUT AND DISCRETIZATION (2/2)





Numerical grid with 21x21x11 control volumes

MODELLING APPROACH

- Transient, three-dimensional, two-fluid, porous media based model.
- Application and development of closure laws.
- Numerical solution with the SIMPLE type numerical method.

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 53

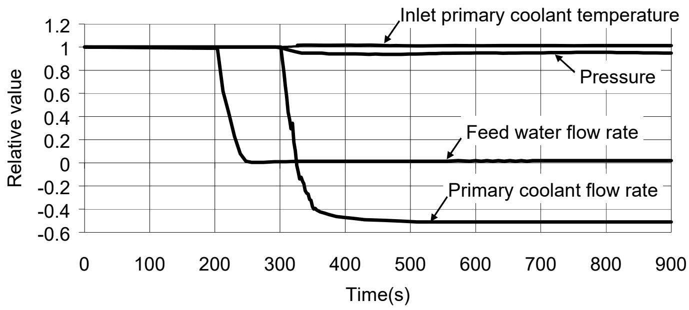
Scenario of the loss-of-feedwater transient (1/2)

Specification of the transient's scenario

Event	**Time (s)**
Start of the steady-state simulation	0
Valves at the feedwater line start to close	201
Feedwater inflow is terminated	250
Main circulation pump is disconnected	302
Reactor coolant reverse flow begins	324
Pressure on the shell side reaches the minimum value	436
End of the transient simulation	900

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 54

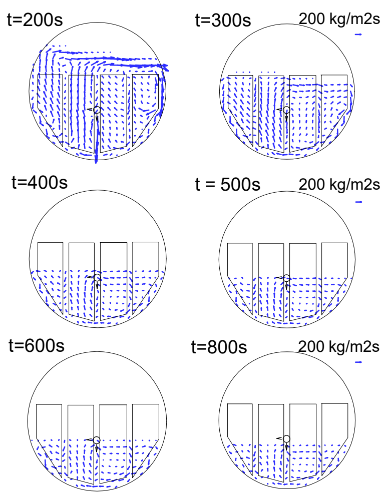
Scenario of the loss-of-feedwater transient (2/2)



Forcing functions for the loss-of-feed water transient simulation

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 55

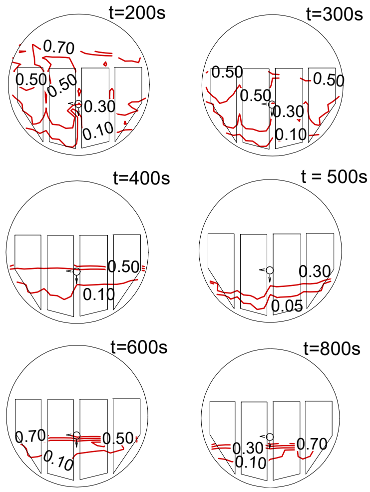
Water mass fluxes



Stevanovic, V., Stosic, Z., Kiera, M., Stoll, U., Numerical Simulation and Analyses of the Loss-of-Feedwater Transient at the Unit 4 of Kola NPP, Proceedings of the 10th Int. Conference on Nuclear Engineering, ICONE-10, Washington, D.C., USA, April 14-18, 2002

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 56

Void distribution

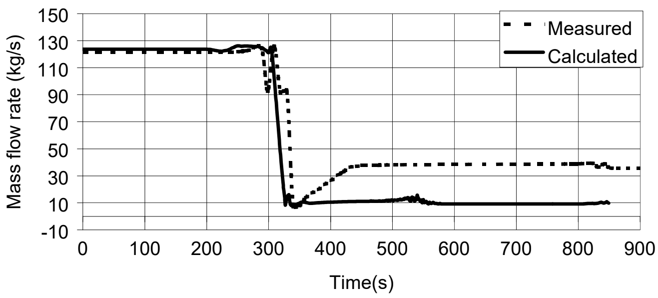


Stevanovic, V., Stosic, Z., Kiera, M., Stoll, U., Numerical Simulation and Analyses of the Loss-of-Feedwater Transient at the Unit 4 of Kola NPP, Proceedings of the 10th Int. Conference on Nuclear Engineering, ICONE-10, Washington, D.C., USA, April 14-18, 2002

Void distribution at several time instances during the loss-of-feedwater transient in vertical plane near the hot header (z=3.7m)

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 57

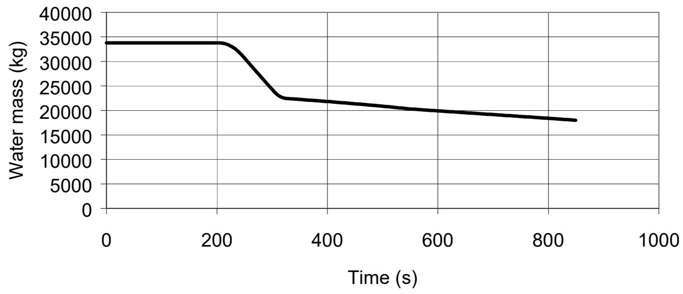
Steam mass flow rate at the outlet



Measured and calculated outlet steam mass flow rates

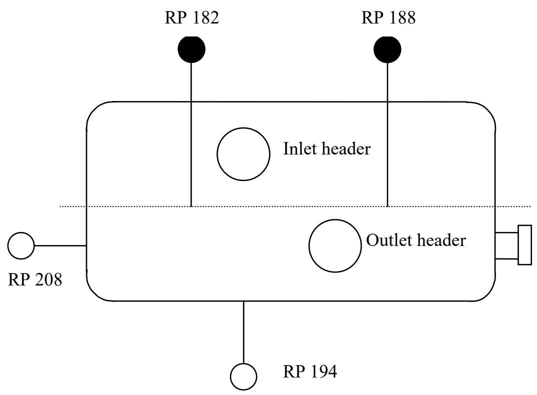
18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 58

Water mass inventory on the shell side



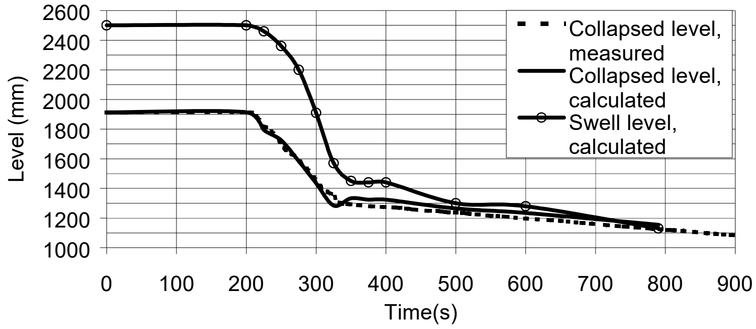
Water mass inventory on the shell side of the HSG

Position of collapsed level gauges based on Δp measurements



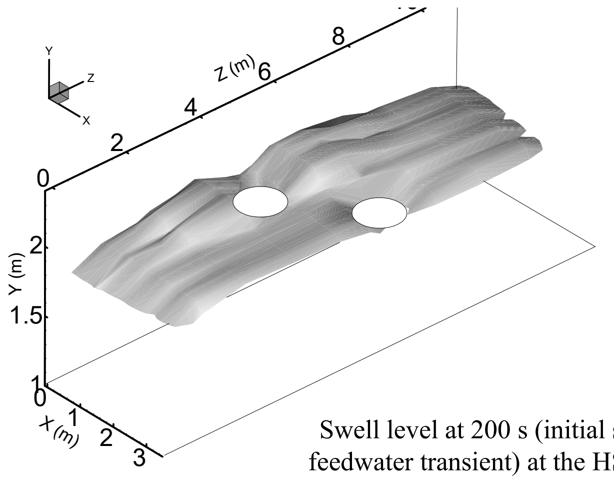
Position of collapsed level gauges based on Δp measurements.

Swell and collapsed levels



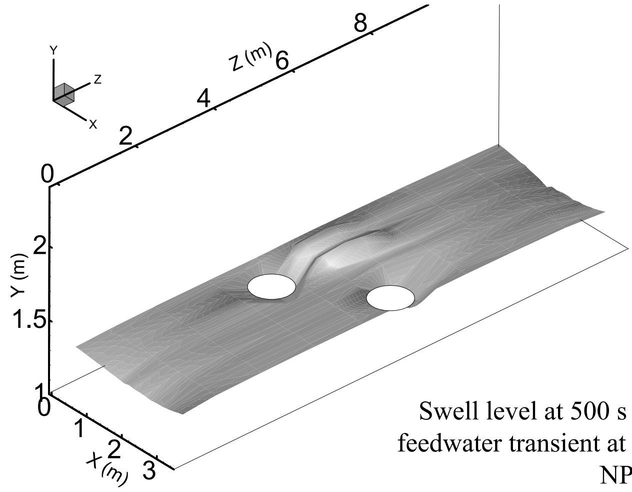
Swell and collapsed levels at the measuring location RP 188

3D swell level position (1/3)



Swell level at 200 s (initial state of the loss-of-feedwater transient) at the HSG of the Kola NPP

3D swell level position (2/3)



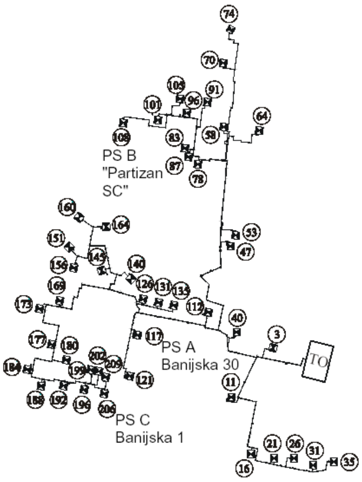
Swell level at 500 s during the loss-of-feedwater transient at the HSG of the Kola NPP

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 63

- Dinamičke sile u parovodima termoelektrana
- Hidraulički udar u dvofaznim sistemima
- Akumulacija radiolitičkog gasa
- "Zasušenje" nuklearnog generatora pare
- ***Prelazni proces u toplovodnoj mreži***
- Dinamika rada akumulatora pare

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 64

SISTEM DALJINSKOG GREJANJA: MAGISTRALA 3 TOPLANE "ZEMUN"



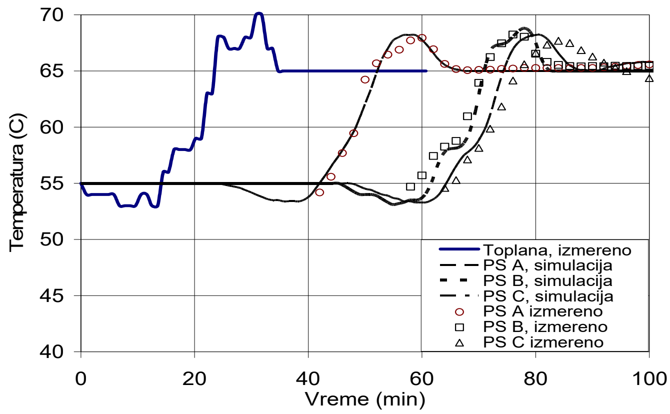
- Snaga toplane je 65 MW.
- Magistrala 3 ima preko 50 podstanica.

PS A
- veća stambena zgrada,
- potrošač toplote za grejanje,
- rastojanje do toplane 729 m.

PS B
- sportski centar,
- potrošač toplote za grejanje i potrošne tople vode,
- rastojanje do toplane 1615 m.

PS C
- veća stambena zgrada,
- potrošač toplote za grejanje i potrošne tople vode,
- rastojanje do toplane 1718 m.

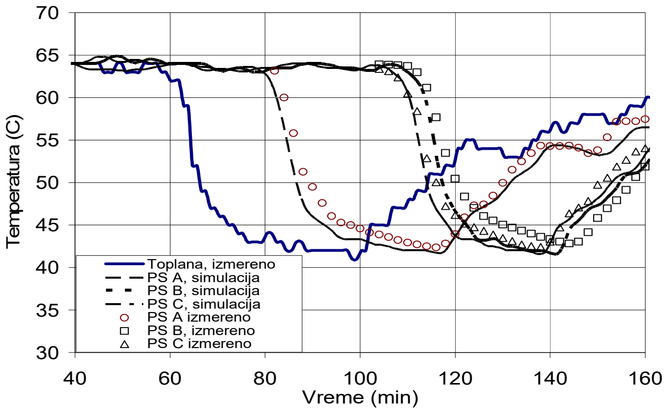
Prostiranje temperaturskog talasa pri porastu snage izvora



Stevanovic, V., Zivkovic, B., Prica, S., Maslovaric, B., Karamarkovic, V., Trkulja, V., Prediction of thermal transients in district heating systems, Energy Conversion and Management, 50 (2009) 2167-2173.

Prostiranje temepraturskog talasa od toplane do potrošača - poređenje numeričkih i izmerenih vrednosti. Prelazni režim sa porastom snage toplane.

Prostiranje temperaturskog talasa pri smanjenju snage izvora



Stevanovic, V., Zivkovic, B., Prica, S., Maslovaric, B., Karamarkovic, V., Trkulja, V., Prediction of thermal transients in district heating systems, Energy Conversion and Management, 50 (2009) 2167-2173.

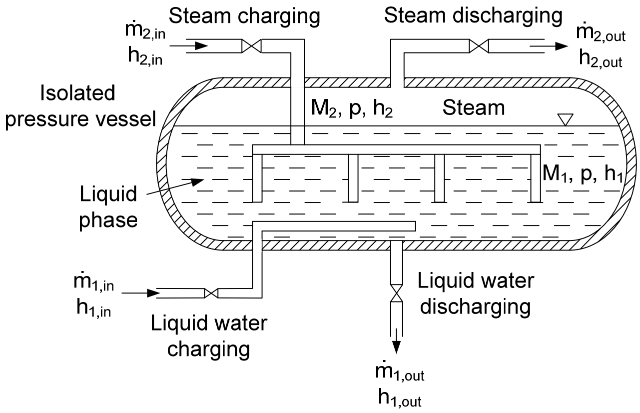
Prostiranje temepraturskog talasa od toplane do potrošača - poređenje numeričkih i izmerenih vrednosti. Prelazni režim sa smanjenjem snage toplane.

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 67

- Dinamičke sile u parovodima termoelektrana
- Hidraulički udar u dvofaznim sistemima
- Akumulacija radiolitičkog gasa
- “Zasušenje” nuklearnog generatora pare
- *Prelazni proces u toplovodnoj mreži*
- ***Dinamika rada akumulatora pare***

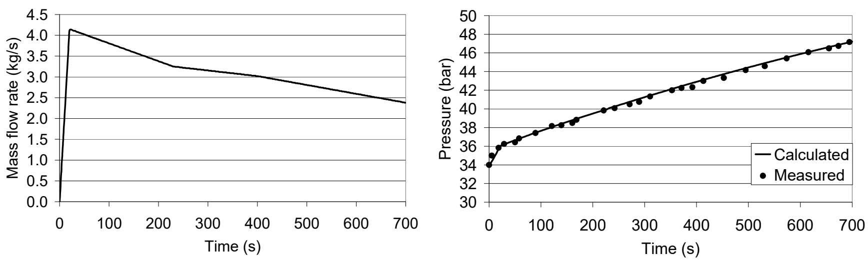
18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 68

Akumulator pare

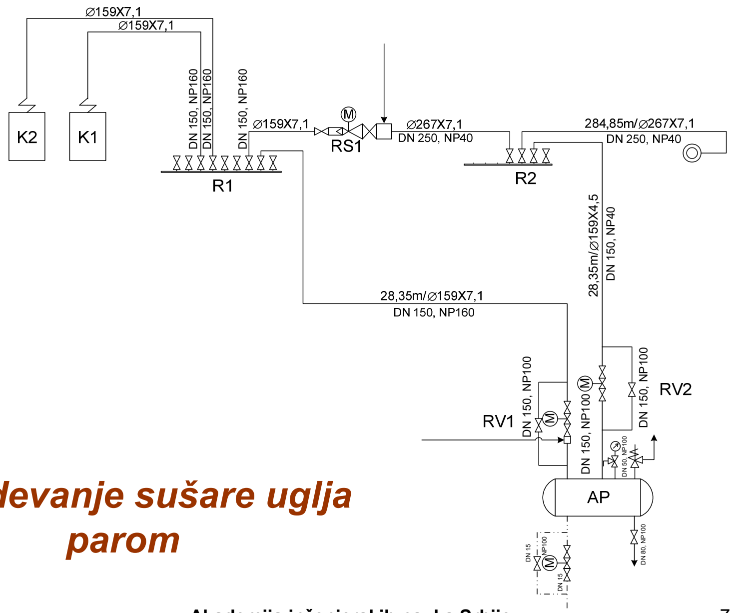


18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 69

Punjenje akumulatora pare

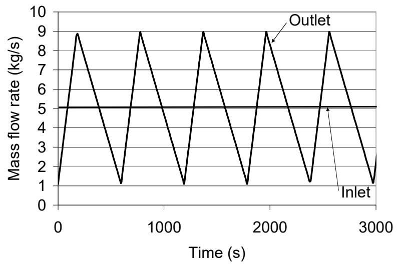


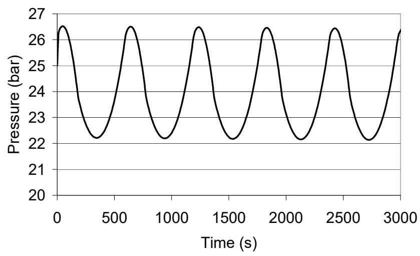
18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 70



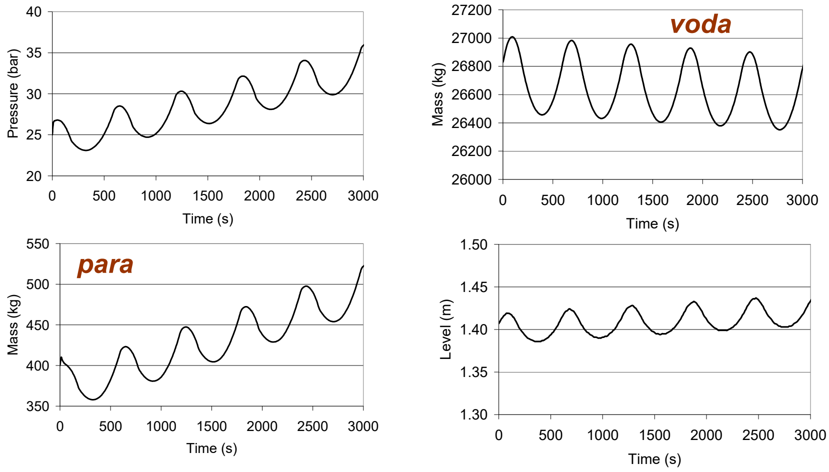
Snabdevanje sušare uglja parom

Snabdevanje sušare uglja suvozasićenom parom





Snabdevanje sušare uglja pregrejanom parom



18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 73

Hvala na pažnji

Vladimir Stevanović
Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
Kraljice Marije 16
11120 Beograd
Tel: (011) 3370 561
E-mail: vstevanovic@mas.bg.ac.rs

18 maj 2011. **Akademija inženjerskih nauka Srbije** 74

AKADEMIJA INŽENJERSKIH NAUKA SRBIJE

Beograd, Maj, 2012.

RAZVOJ PROIZVODA I POSTULATI TEHNIČKO-TEHNOLOŠKOG NAPRETKA

Prof. dr Milosav OGNJANOVIĆ

Mašinski fakultet

Univerziteta u Beogradu

1

SADRŽAJ:

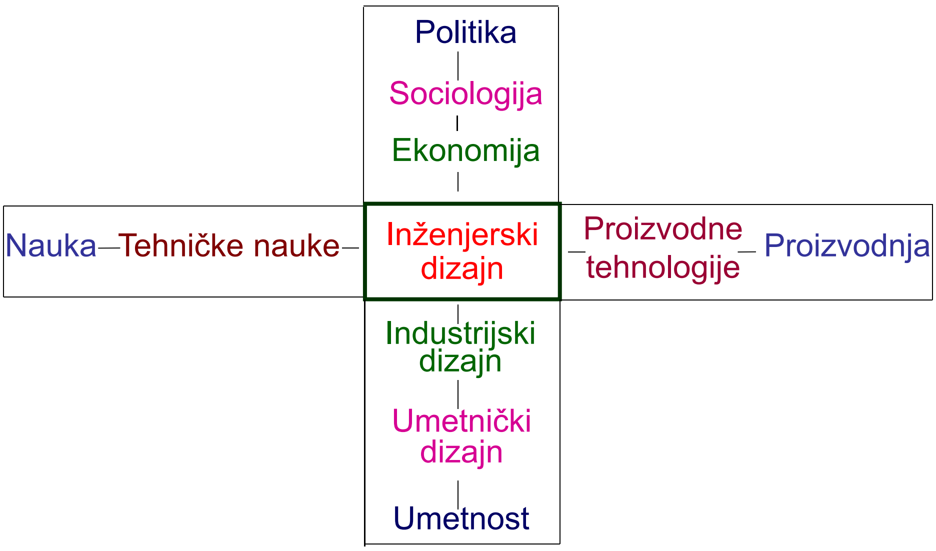
- ***Pojam novog proizvoda***
- ***Istorijski procesi i postulati tehnološkog razvoja***
- ***Aktuelno stanje i predvidjanja***
- ***Zaključak***

2

Pojam novog proizvoda

- Na našim prostorima NE POSTOJI tradicija razvoja novih proizvoda.
- Na globalnom nivou, a pogotovu kod nas postoji konfuzija u pogledu značenja ovog pojma.
- Ekonomski razvoj i socijalno stanje u društvu je u direktnoj korelaciji sa novim proizvodima koji su krajnji rezultat tehnološkog razvoja.

3

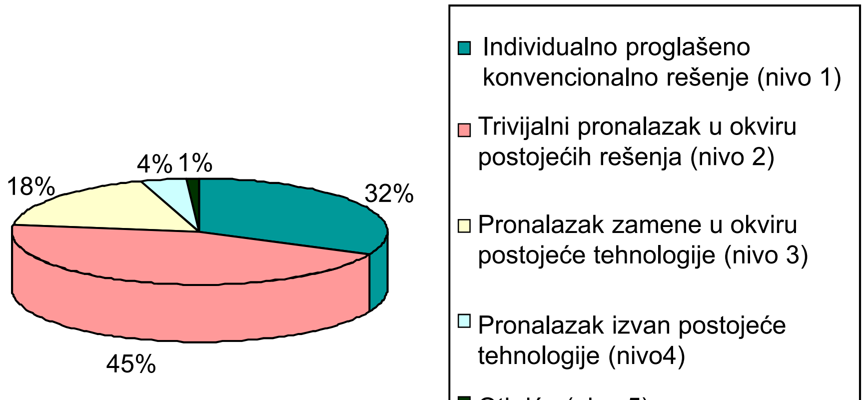


4

Stepen inovativnosti

Adunka 04.07.174

Pet nivoa inovativnosti



Odnos broja inovacija odredjenog tipa

5

izvor: Terninko, Zusman, Zlotin

Aspekti problema	Nivoi inovativnosti				
	1. nivo Racionalizacija	**2. nivo Modernizacija**	**3. nivo Novi princip**	**4. nivo Sinteza novog ršenja - pronalazak**	**5. nivo Otkriće**
Polazni uslovi (podsticaji)	Za konkretne zadatke i parametre	Za zadatke definisane sa nekoliko parametara i strukturalnom analogijom	Za skup neuskladjenih zadataka primenjujući samo funkcionalnu analogiju	Mnogi činioci su nepoznati, bez strukturalnih i funkcionalnih analogija	Primarni cilj je nepoznat i nema analogije sa drugim rešenjima
Resursi za rešenje i osoblje koje problem rešava	Resursi su očigledni i dostupni uz profesionalni pripremu	Resursi nisu očigledni ali postoje u sistemu uz tradicionalnu pripremu	Resursi se mogu izdvojiti iz drugih sistema uz razvojno razmišljanje	Resursi iz različitih područja znanja, asocijativno i kreativne sposobnosti	Resursi su nepoznati, motivacija nije stereotipna
Nivo složenosti i teškoća	Zadatak bez konflikta (kontradikcija)	Uobičajeni problemi	Neuobičajeni problemi	Ekstremni problemi	Naročit problem
Nivo transformacije znanja u tehničko rešenje	Optimizacija postojećeg rešenja	Rešenje zasnovano na tipičnoj analogiji	Rešenje dobijeno kombinacijom inovativnih metododa	Pronalazak dobijen integracijom potrebnih tehničkih efekata	Naučni i tehnički pronalazak
Nivo inovativnosti	Mala promena u parametrima	Inicijalna promena u strukturi i funkciji bez promene u funkcionalnom principu	Promena principa rada - Novi princip	Suštinska promena postojećih sistema - Pronalazak	Suštinska promena baznih efekata koja vodi civilizacijskim promenama

6

Otkriće

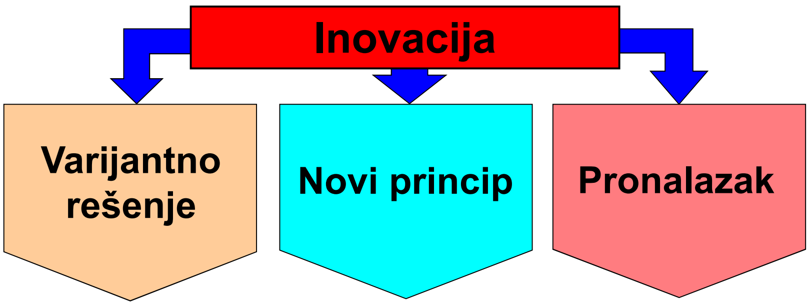
Do sada nepoznati bazni princip, cilj, svojstvo ili objekt u materijalnom svetu

(Primer: *elektromagnetni talasi*)

Pronalazak

Materijalni objekt ili njegovo svojstvo koje do tada nije postojalo u svetu ili je bilo nepoznato

(Primeri: *radio, radiometrija, televizija, internet, mobilna telefoniija,..*)



7

Stanje

- Na globalnom nivou nedostaju naučna otkrića koja bi bila osnov za razvoj novih proizvoda visokog stepena inovativnosti. Zahvaljujući tehnološkom nivou još uvek se eksploatišu naučna otkrića iz 19. veka.
- Na nivou našeg okruženja nedostaju tržište i kapital. Otvoreno tržište su zauzeli jaki i brendirani proizvodjači koje je nemoguće potisnuti. Treba pronaći NOVE POTREBE i nove PROIZVODE sa kojima bi se otvorila nova tržišta.
- Svetska metalska industrija egzistira pretežno na proizvodnji automobila. Dali tako može dalje pošto je tržište prezasićeno ovim proizvodima. Ako bi se pojavili novi izvori energije (nova otkrića) bili bi stvoreni i novi principi i novi proizvodi.

8

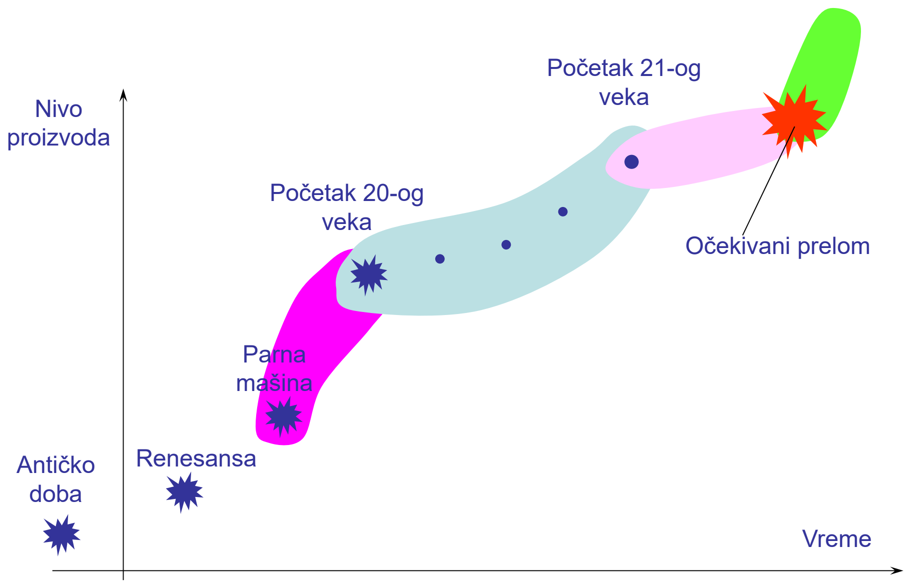
Istorijski procesi i postulati tehnološkog razvoja

Postulati

1. **Naučna otkrića i pronalasci**
2. **Novi izvori energije**
3. **Nove metode i alati za razvoj proizvoda**

9

Istorijski trend u razvoju proizvoda



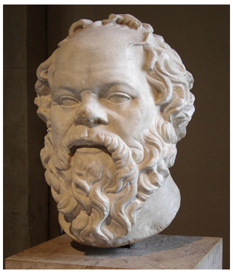
10

Antičko doba

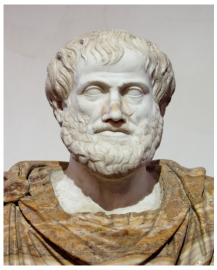
Pythagoras, 580 – 500 BC
Socrates, 470 – 399 BC
Platon, 427 – 347 BC
Archytas of Tarent, 435 – 355 BC (~)
Aristoteles, 384 – 322 BC
Ktesibios, Alexandria, 285 – 212 BC
Archimedes, 287 – 212 BC
Heron, Alexandria, 20 – 62 AD
Marcus Vitruvius Pollio, 1st century, Rome

Doba Rimske imperije nije ostavilo tragove u oblasti naučnog i tehničkog razvoja tj. održan je tehnološki nivo Antičke Grčke.

11



Socrates, 470 – 399 BC



Aristoteles, 384 – 322 BC

Sokrat je bio prvi učitelj kreativnosti. Navodio je učenike da stvaraju harmoniju izmedju principa i koristi koje ljude čine zadovoljnim, a da znanje stiču (uče) na bazi sopstvenog iskustva. Kompletno znanje se ne može dobiti samo iz spoljnjeg sveta.

Aristotel je pokušao da teorijski objasni potrebu za eksperimentima i drugim tehničkim aktivnostima za sticanje znanja.

12

Renesansa 1500-1600

- Novo rodjenje matematike, fizike, mehanike i eksperimentalnog rada.
- Nauka se oslobodila teoloških ograničenja i započela slobodni razvoj.
- Eksperimenti su postali osnova nauke i tehnike umesto metafizičkih principa. Leonardo Davinči prednjači u oblasti razvoja tehničkih rešenja.

Leonardo da Vinci, 1452 – 1519 AD

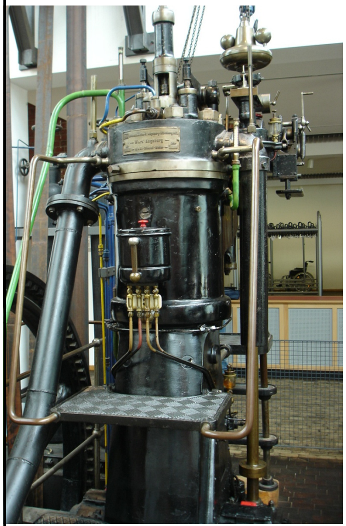
13

Vek prosvetljenja 1700-1800

Christian Huygens (1629 – 1695)	***Talasna teorija svetlosti***
Robert Hooke (1635 – 1703)	***Zakoni elastičnosti***
Isaac Newton (1643 – 1727)	***Teorija emisije svetlosti***
Leonhard Euler (1707 – 1783),	***Proračun varijacija***
Karl-Friedrich Gauß (1777 -1855) ,	***Teorija grešaka***

14

Pronalazak parne mašine krajem 18. veka



15

Devetnaesti vek – Vek industrijalizacije, otkrića i pronalazaka

Brewster	**1814**	birefringence effects in uniaxial crystals
Neumann	**1841**	relation birefringence / velocity of light
Doppler	**1842**	Doppler-effect
Wheatstone	**1843**	Wheatstone-bridge
Lord Kelvin	**1850, 1856**	effect of thermo-elasticity, relation resistance/strain
Maxwell	**1852**	mathem. formulation of stress birefringence relation
Tyndall	**1870**	scattering of light, very small particles
Lord Rayleigh	**1874**	1st description of Moiré-effects, scattering gratings
Michelson	**1887**	interferometer
A. Righi	**1887**	Moiré-effect, measurem. of relative displacements
Mach/Zehnder	**1891**	interferometer
Fabry-Perot	**1897**	interferometer

16

Početak Dvadesetog veka

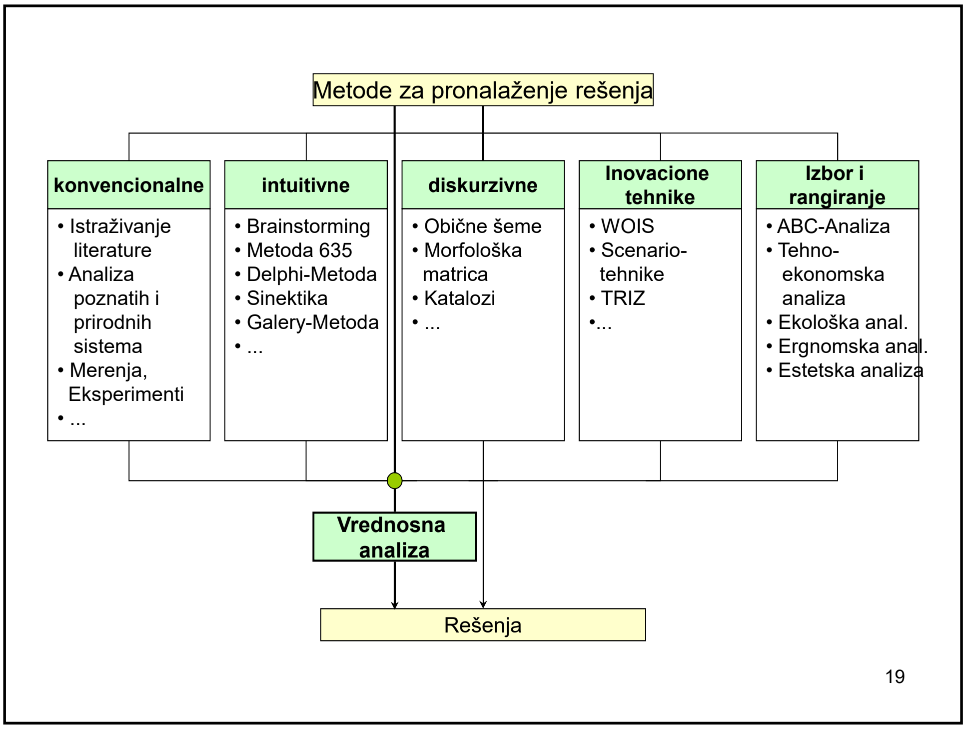
- Početak dvadesetog veka po industrijskom razvoju, pronalazcima i otkrićima predstavlja nastavak devetnaestog veka. Plank, Kiri, Anštajn i dr. su produžili niz značajnih otkrića iz 19 veka. Nikola tesla, Braća Rajt i drugi početkom 20-tog veka svojim pronalascima snažno su povećali gradijent povećavanja broja pronalazaka iz 19-og veka.
- Povećanje obima industrijske proizvodnje primenom Tejlorove teorije i uvodjenjem masovne proizvodnje primenom Fordovog sistema, pojačana je tržišna konkurencija i povećana potreba za stalnim uvodjenjem novih proizvoda na tržište. Sredina 20-og veka otvara trku u uvodjenju novih proizvoda radi opstanka u tržišnoj konkurenciji.

17

Sredina Dvadesetog veka

- Ubrzani industrijski razvoj u prvoj polovini 20-og veka nije mogao da se oslanja na inspiraciju izuzetno nadarenih pojedinaca očekujući nova tehnička rešenja koja će obezbediti konkurentnost na tržištu. Krenulo se u razvoj metoda za “Traganje” za idejama i rešenjima. Počelo je 1920 godine sa Metodom fokalnih objekata, Breinstorming (1940), Sinektika, Morfološka analiza, Lateralno razmišljanje, Neuro-lingvističko programiranje i dr.
- Sedamdesetih godina 20-tog veka procedura razvoja proizvoda i inženjerskog dizajna je standardizovana (propisana) VDI normama i definisana kao sistematski pristup. Tu se razvoj ovih metoda ne završava. Do sada razvijene metode za traganje za idejama i rešenjima mogu se grupisati kao što sledi.

18



Kraj Dvadesetog veka

- Poslednju četvrtinu 20-tog veka odlikuje ekspanzija kompjuterskih alata koji su izuzetno ubrzali inženjerski i druge oblasti dizajna.
- Pojavile su se ideje da se inženjerski dizajn ili neke njegove celine automatizuju. Ubrzo je uočeno da to sputava kreativnost, pa su pristupi kao što su "Ekspertni sistemi" ubrzo napušteni kao pravac daljeg razvoja.
- Predložen je veći broj metoda i pristupa koje obezbedjuju skraćivanje perioda razvoja i podizanje nivoa kvaliteta razvijenih sistema (Virtuelni, Aksiomatski i drugi pristupi)
- Rezultat u vidu povećanog broja novih tehničkih rešenja nije pratio porast broja predloženih metoda. Kraj 20-tog veka obeležila su varijante postojećih rešenja sa višim nivoom kvaliteta rada koji se ogleda u **fleksibilnosti i inteligentnosti** zasnovani na ekspanziji informacionih tehnologija.

20

Postulati	Antičko doba	Renesansa	19. vek	Početak 20.veka	Kraj 20. veka
Naučna otkrića i pronalasci	početak baznih otkrića u nauci	novo rodjenje prirodnih nauka i eksperimenata	brojna otkrića i pronalasci	nastavak serije otkrića i pronalazaka	nema novih otkrića i pronalazaka
Novi izvori energije	snaga robova i životinja	snaga ljudi i životinja	snaga pare i parne mašine	SUS u el. motor	nema novih izvora energije
Nove metode i alati za razvoj proizvoda	početak razvoja teorije kreativnosti	kreativnost je individualno svojstvo pojedinca	kreativnost je individualno svojstvo pojedinca	kreativnost je individualno svojstvo pojedinca	ekspanzija metoda i kompjuterskih alata za razvoj proizvoda

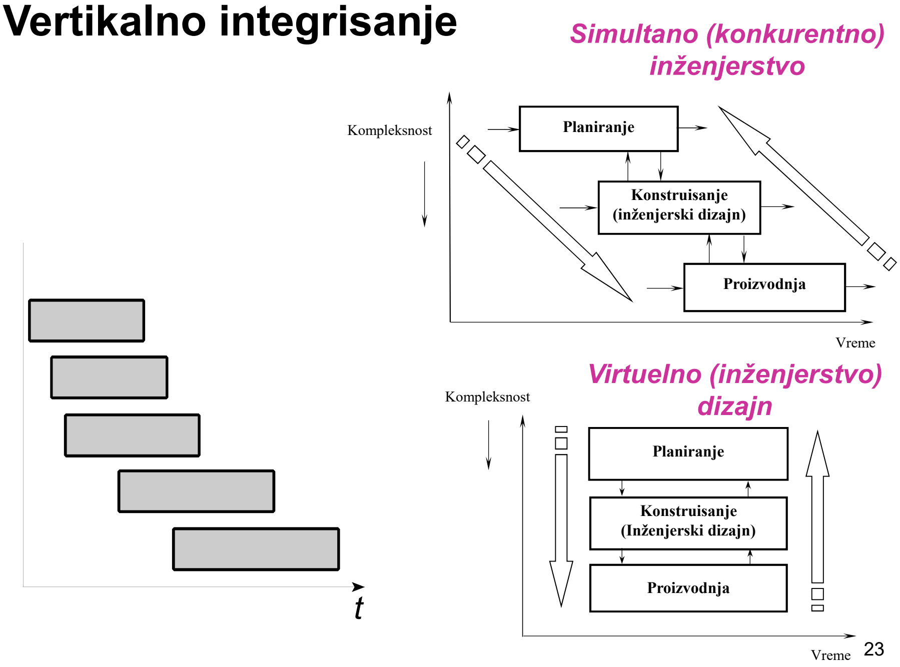
21

Aktuelno stanje

- Aktuelno stanje (početak 21.veka) odlikuju integrisani i multidisciplinarni pristupi, od kojih se očekuje da budu podsticaj nastanku ideja, potreba i rešenja.
- Multidisciplinarnim i integrisanim pristupima nastoji se da se uveća nivo kreativnosti pojedinaca i tima. Timski rad na lokalnom i globalnom nivou usmeren je ka uvećanju kreativnosti i efikasnosti u razvoju novih proizvoda.
- Nastavlja se proces podizanja nivoa kvaliteta inteligentnosti razvijenih (postojećih) tehničkih rešenja.
- Usavršavaju se već razvijene metode u razvoju proizvoda i dizajna.
- Efekti i dalje nisu zadovoljavajući. Nije sasvim jasno dali su efekti slabi zbog loše ekonomske situacije, ili obrnuto.

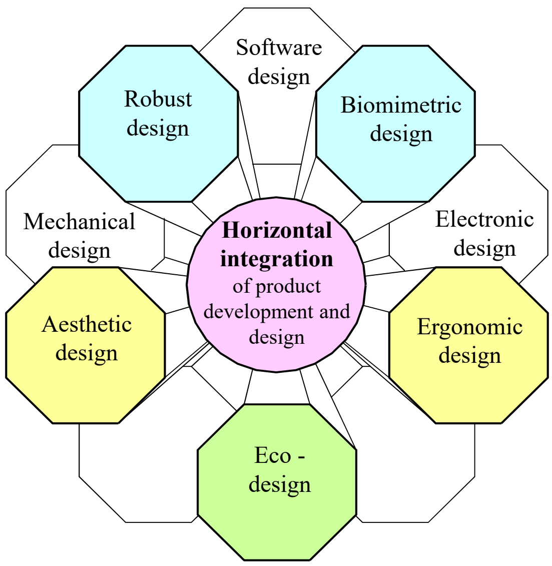
22

Vertikalno integrisanje



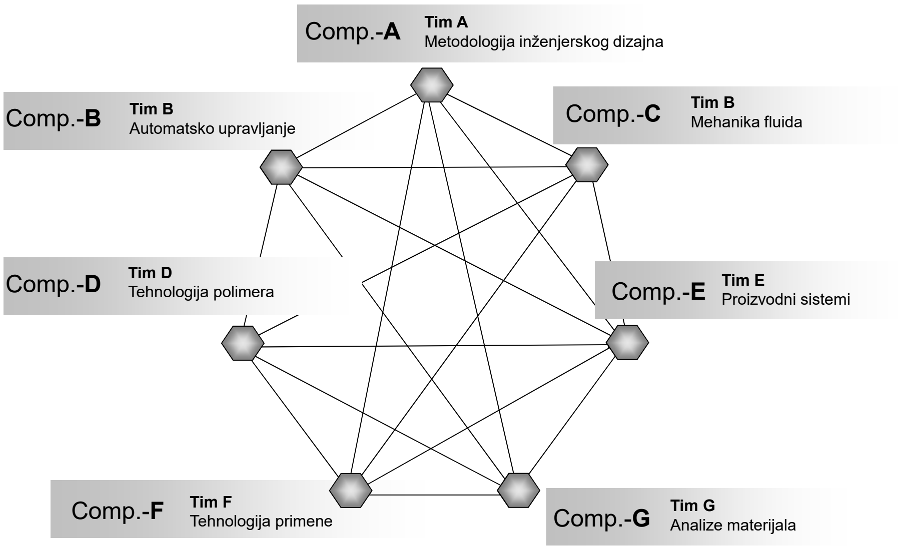
23

Horizontalno integrisanje



24

Mreža za integrisani razvoj proizvoda



25

ROBUSTNI PRISTUP

Robust

pored ostalog znači “izdržljiv”, “neosetljiv”

Razvoj proizvoda se ostvaruje za definisane granične uslove (prinude – constraints) koje se u toku eksploatacije mogu menjati. Termin “robust” u ovom smislu znači da se ove promene ne uslovljavaju promenu svojstava proizvoda. **Proizvod je neosetljiv na promenu uslova u okruženju.**

Robustni dizajn je u neposrednoj vezi sa Aksiomatskim dizajnom koji podrazumeva transformaciju potrebe funkcije i ograničenja u konstrukcijske parametre pod odredjenim uslovima

26

VIRTUERNI PRISTUP

TRIZ

Skraćenica TRIZ potiče od Ruskog jezika i znači Teorija Razrešenija Izobratiteljskih Zadač (Teorija rešavanja konstrukcijskih zadataka). Postala je poznata po specifičnim stavovima u pogledu traganja za konstrukcijskim i drugim rešenjima

TRIZ inicira efektivna rešenja problema i služi kao podrška za probijanje misaonih barijera u traganju za idejama.

- Provera inovativnosti
- Funkciona struktura prema TRIZ-u
- Analiza kontradikcija
- Pristup 39 tehničkih principa
- Pristup 40 inovativnih principa
- Tabela kontradikcija
- Idealni konačni rezultat
- Substituciona analiza prema TRIZ-u
- ARIZ (Algoritam za rešavanje inovativnih problema)
- Pravila za razvoj proizvoda
- 76 standardnih rešenja prema Altschuller-u

28

Predvidjanja, kratkoročna i dugoročna

Osnove za predvidjanje

-Istorijski tokovi i zakonitosti

-Postulati formirani na osnovu istorijskih procesa

-Ocena uslova za otvaranje novih trendova

-Ocena karaktera novih tehničkih rešenja

29

Trend u razvoju nauke i tehnologije

-Naučna otkrića koja su snažno pokrenula tehnološki razvoj dogodila su se na prelazu 19. i 20. veka. Posle toga nije bilo velikog iskoraka u osnovnim naukama, produbljivana su otkrić sa početka 20. veka.

- ***Znanja*** o procesima u materijalima, o procesima u biološkim organizmima, u ljudskom telu posebno u mentalnoj sveri, su veoma oskudna. Ova znanja bi jako pomogla i ubrzala razvoj tehničkih sistema – novih proizvoda.

-Tehnologije su u svom razvoju ostvarile značajan napredak ali su zasnovane na postojećim naučnim otkrićima i energijama. Mobilni telefon kao značajno novo tehničko rešenje je zasnovano na elektromagnetnim talasima koji su otkriveni krajem 19. veka.

30

ZASIĆENOST

- Postoji na globalnom nivou konsensus o tome da je došlo do opšteg zastoja u razvoju novih proizvoda i tehnologija i da je to jedan od uzroka ekonomske stagnacije ili krize u svetu. Pokušaji da se ovaj problem reši bez značajnijeg tehnološkog iskoraka, teško će biti efikasni.

-Prisutan je osećaj da su iscrpljeni resursi postojećih osnovnih znanja. Potrebna su otkrića nepoznatih prirodnih procesa koja bi donela nova znanja na koja bi se nadovezale nove tehnologije. Nepoznatih područja u prirodnim i biološkim

- Na bazi sada postojećih znanja teško je očekivati veće tehnološke iskorake. Oseća se prisustvo velike **zasićenosti** u pogledu iskorišćenja postojećih znanja i postojećih izvora energije

31

OČEKIVANJA

-**Nanotehnologije** su područje od kojeg se mnogo očekuje. Do sada su se tehnologije razvijale na bazi naučnih otkrića. Očekuje se da nanotehnologije omoguće prodor u nano svet i dovedu do otkrića novih naučnih fundamenata prisutnih u materijalima, biološkim sistemima, novim izvorima energije, komunikacijama i dr.

-***Fuziona energija*** je budući resurs od kojeg se očekuje da dovede do tehnološke revolucije. Očekuje se da bude u neograničenom obimu i u obliku koji će odgovarati potrošaču. Ukazaće se potreba za novim tehničkim rešenjima koja su zasnovana na novom principu stvaranja energije i novim principima njene transformacije.

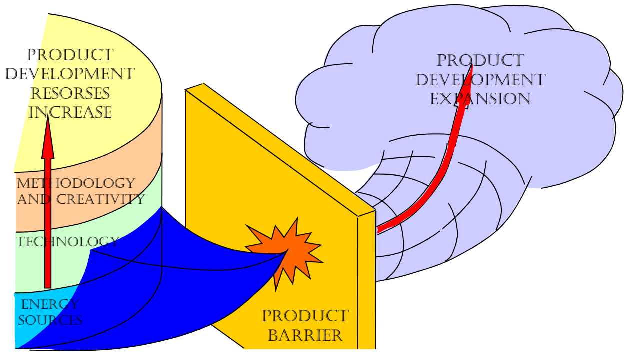
32

EVOLUCIJA ILI REVOLUCIJA

- **Evolucija** je proces kontinualnog i postepenog razvoja nauke i tehnologije sa kojim se postepeno uvećava ili varira i ekonomski potencijal. Proces tehnološke i naučne evolucije već dugo traje. Trenutno je već duže prisutan trend ekonomske stagnacije koji što je verovatno posledica iscrpljenih mogućnosti za razvoj novih proizvoda na bazi postojećih naučnih znanja i tehnologija.

- **Revolucija** podrazumeva naglu ekspanziju tehničkih rešenja kada potencijali toliko narastu da se postepeni prelaz ne može obezbediti ili se otme kontroli. Otkriće novih izvora energije, novih prirodnih zakona i tehnologija, novih metoda i rešenja, kao i potreba za ekonomskim iskorakom, mogu u kratkom vremenu dovesti do tehnološkog prevrata (revolucije) tj. do otvaranja novih tehnoloških područja i trendova u razvoju novih proizvoda. Svaka revolucija pa i ova pre nego dovede do prosperiteta stvara izuzetno bolne ekonomske i druge posledice. 33

Ilustracija tehnološke revolucije



Posledice

-Eliminacija postojećih tehničkih rešenja i zamena novim
-Ekonomsko previranje medju vlasnicima kapitala
-Transformacija znanja i veština korisnika tehničkih sistema sa ekonomskim posledicama u odnosu na pojedince i populacija. 34

Zaključak

1) U našem okruženju je potrebno stvoriti osećaj o potrebi za razvoj novih proizvoda jer je to imperativ ekonomskog i društvenog napretka.
2) Razvijene efikasne metode i alati za razvoj proizvoda ostali su bez značajnih tehničkih rešenja koja bi time bila stvorena. Potrebno je da budu zadovoljena i druga dva postulata za tu svrhu.
3) Ovo stanje može promeniti otkriće novih izvora energije i novih znanja u materijalnom i biološkom nano-svetu.
4) Očekuje se transfer bioloških principa u tehničke sisteme koji će potisnuti većinu postojećih mehaničkih sistema. Ako je **20. vek bio vek fizike** očekuje se da **21. vek bude vek biologije.**

35

ТЕХНИЧКО – ТЕХНОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ВОДНОГ САОБРАЋАЈА НА НАШЕМ ДЕЛУ ДУНАВСКЕ ПЛОВНЕ МРЕЖЕ

Проф. др Владета Чолић, дипл. инж.
редовни професор Саобраћајног факултета Универзитета у Београду, у пензији
дописни члан Академије инжењерских наука Србије

Предавање на Семинару Академије 13.06.2012. г.

ТЕХНИЧКО – ТЕХНОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ВОДНОГ САОБРАЋАЈА НА НАШЕМ ДЕЛУ ДУНАВСКЕ ПЛОВНЕ МРЕЖЕ

- У оквиру техничко – технолошких карактеристика водног саобраћаја на нашем делу Дунавске пловне мреже (пловни путеви који припадају црноморском сливу) биће речи о *пловној мрежи у Србији, лукама и пристаништима* на тој мрежи као и о *нашим врстама пловних средстава* која плове том мрежом и опслужују луке и пристаништа на поменутој пловној мрежи.
- На крају ће се дати *генерална SWOT анализа нашег речног саобраћаја са основним циљевима и принципима даљег развоја*.

I. ПЛОВНА ПРЕВОЗНА СРЕДСТВА – БРОДОВИ УНУТРАШЊЕ ПЛОВИДБЕ

У оквиру овог излагања биће речи о следећем:

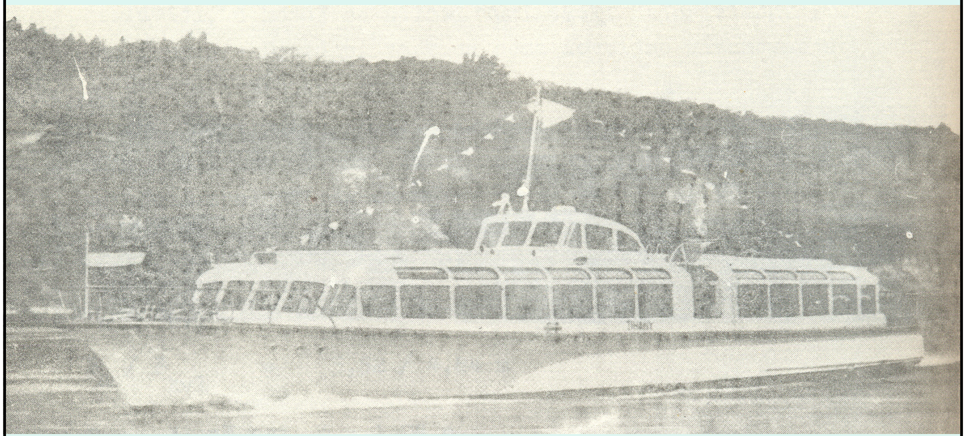
1.РЕЧНИ ПУТНИЧКИ БРОДОВИ
2.РЕЧНИ ТЕРЕТНИ БРОДОВИ
- 2.1.МОТОРНИ ТЕРЕТЊАЦИ
- 2.2.ТЕРЕТЊАЦИ БЕЗ СОПСТВЕНОГ ПОГОНА

3.РЕЧНИ МОТОРНИ ТЕГЉАЧИ („РЕМОРКЕРИ”)
4.РЕЧНИ МОТОРНИ ПОТИСКИВАЧИ
5.БРОЈНО СТАЊЕ РЕЧНЕ ПРИВРЕДНЕ ФЛОТЕ СРБИЈЕ У 2010. ГОДИНИ
6.ОСНОВНИ ТЕХНОЛОШКИ СИСТЕМИ ПРЕВОЖЕЊА У САВРЕМЕНОМ РЕЧНОМ САОБРАЋАЈУ

1. РЕЧНИ ПУТНИЧКИ БРОДОВИ

Дунавски путнички туристички брод – брод „хотел“ (крузер)

1. РЕЧНИ ПУТНИЧКИ БРОДОВИ

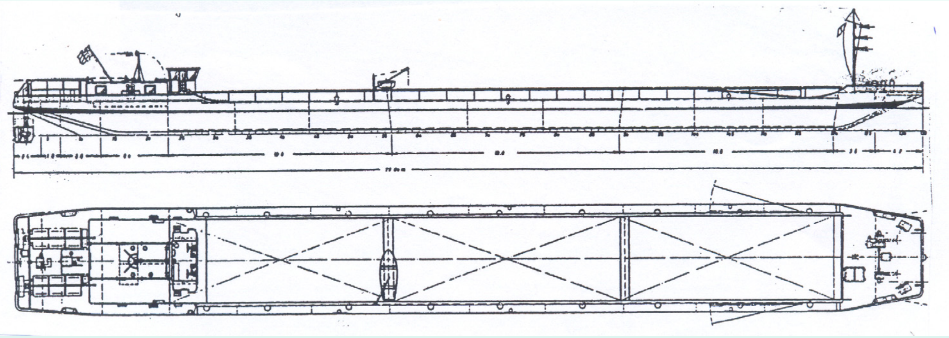


Хидробус „Неготин“ (L_a = 26,80 m; B_a = 5,52 m; T_m = 1,05 mброј путничких места 150; v = do 25 km/h; N_{inst} = 2x85 KS = 125 kW)

1. РЕЧНИ ПУТНИЧКИ БРОДОВИ

Путнички брод „Ковин“ (L = 22,40 m; B = 5,36 m; T = 1,30 m)

2. РЕЧНИ ТЕРЕТНИ БРОДОВИ
Моторни теретњаци за превоз сувог терета



Нацрт самоходног моторног теретњака са два ванбродска „Шотел-пропулзора“ (L_a = 79,80 m; B_a = 9,80 m; T_{km} = 2,80 m; Q_r = 1580,0 t; v = od 13-15 km/h; N_{inst} = 2x331 kW)

2. РЕЧНИ ТЕРЕТНИ БРОДОВИ
Бродови за превоз течног терета (танкери)

Дунавски моторни танкер (L_a = 80,0 m; B_a = 8,20 m; T_{km} = 2,62 m; Q_r = 1140,0 t; N_{inst} = 960 KS = 706,56 kW)

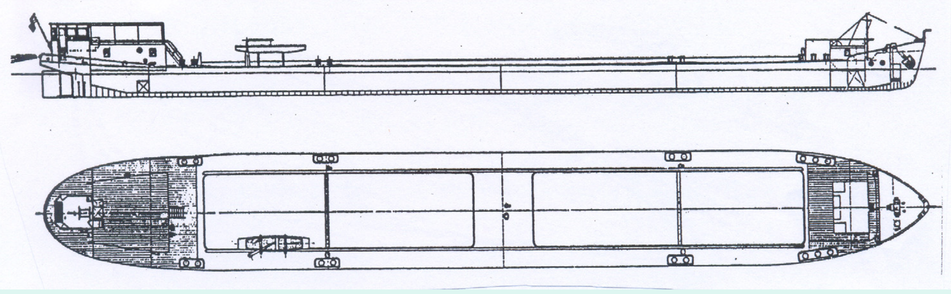
2. РЕЧНИ ТЕРЕТНИ БРОДОВИ
Бродови за превоз посебних терета
Контејнерски бродови

Дунавски контејнерски брод (L_a= 95,0 m; B_a= 11,40 m;
T_{km}= 2,50 m; Q_r= 1785,0 t; капацитет 192 TEU;
N_{inst}= 2×615 KS = 2×452,64 kW)

2. РЕЧНИ ТЕРЕТНИ БРОДОВИ
Бродови за превоз посебних терета Ro-Ro-Ro бродови

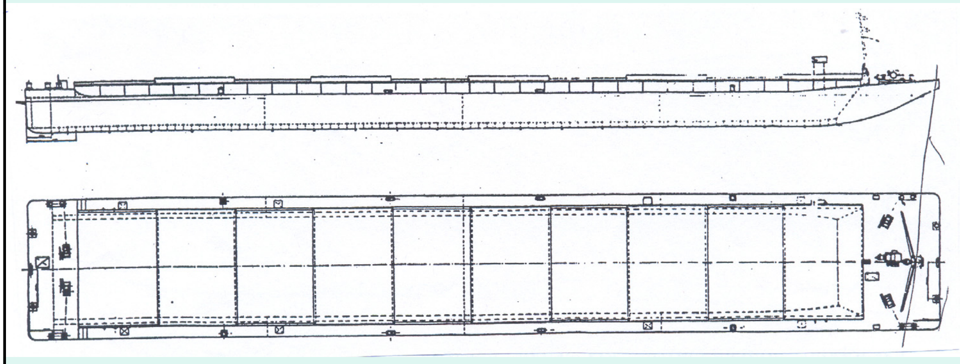
Генерални план Ro-Ro брода - катамарана типа „Хан Кардам”
(L_a= 114,0 m; B_a= 22,80 m; T_{km}= 1,65 m; T_{ko}= 1,00 m; H_k= 3,30 m;
H_m= 6,80 m; V= 3130,0 m3; Q_r= 1530,0 t; N_{inst}= 2×793,0 kW)

2. РЕЧНИ ТЕРЕТНИ БРОДОВИ
Теретњаци без сопственог погона
Тегљени теретњаци (тегљенице)



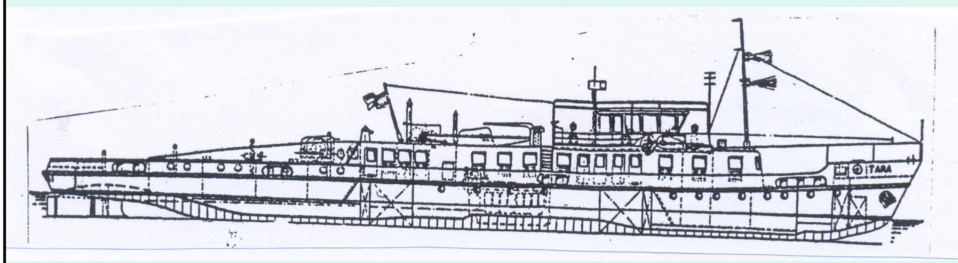
Дунавски тегљени теретњак (тегљеница), L_{KVL}= 72,20 m; B_{KVL}= 10,0 m; T_{km}= 2,10 m; H_k = 2,50 m; Q_r= 1000,0 t

2. РЕЧНИ ТЕРЕТНИ БРОДОВИ
Теретњаци без сопственог погона
Потискивани теретњаци (потиснице)



Дунавски несиметрични потискивани теретњак (потисница), L_a= 67,0 m; B_a= 10,2 m; T_{km}= 2,30 m; H_k = 2,60 m; Q_r= 1200,0 t

3. РЕЧНИ МОТОРНИ ТЕГЉАЧИ („РЕМОРКЕРИ“)



Дунавски тегљач са два пропелера, L_a= 55,05 m; B_a= 8,31 m; T_{km}= 1,60 m; H_k = 2,65 m; N_{inst}= 2x780 kW

4.РЕЧНИ МОТОРНИ ПОТИСКИВАЧИ

Моторни потискивач „Винодол“, (L_a= 30,0 m; B_a= 9,22 m; T_{km}= 1,70 m; N_{inst}= 2x380 kW)

5. БРОЈНО СТАЊЕ РЕЧНЕ ПРИВРЕДНЕ ФЛОТЕ СРБИЈЕ У 2010. ГОДИНИ

Врста брода	Број	Погонска снага (кW)	Носивост (t)	Број путника
1.Путнички бродови	3	922	/	104
2. Моторни потискивачи	24	27506	/	/
3. Моторни тегљачи	17	7049	/	/
4. Моторни теретњаци	39	14058	38594	/
5. Тегљенице	46	/	37266	/
6. Потиснице	186	/	237687	/
Σ	312+3	48613+922	313547	104

6. ОСНОВНИ ТЕХНОЛОШКИ СИСТЕМИ ПРЕВОЖЕЊА У САВРЕМЕНОМ РЕЧНОМ САОБРАЋАЈУ

Систем превожења тегљеним саставима

6. ОСНОВНИ ТЕХНОЛОШКИ СИСТЕМИ ПРЕВОЖЕЊА У САВРЕМЕНОМ РЕЧНОМ САОБРАЋАЈУ

Систем превожења потискиваним саставима

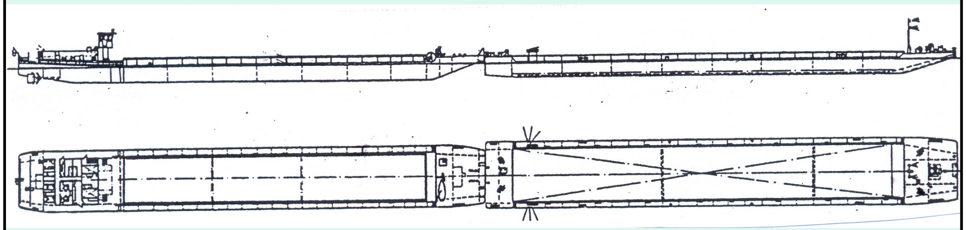
6. ОСНОВНИ ТЕХНОЛОШКИ СИСТЕМИ ПРЕВОЖЕЊА У САВРЕМЕНОМ РЕЧНОМ САОБРАЋАЈУ

Систем превожења моторним теретњацима

Моторни теретњак „Делиград“ на Дунаву (L_a= 95,06 m; B_a= 11,05 m; T_{km}= 2,70 m; D_m = 2489,91 t; Q_r = 1891,59 t; Ninst= 2x868 KS = 2x636 kW)

6. ОСНОВНИ ТЕХНОЛОШКИ СИСТЕМИ ПРЕВОЖЕЊА У САВРЕМЕНОМ РЕЧНОМ САОБРАЋАЈУ

Систем превожења моторним теретњацима



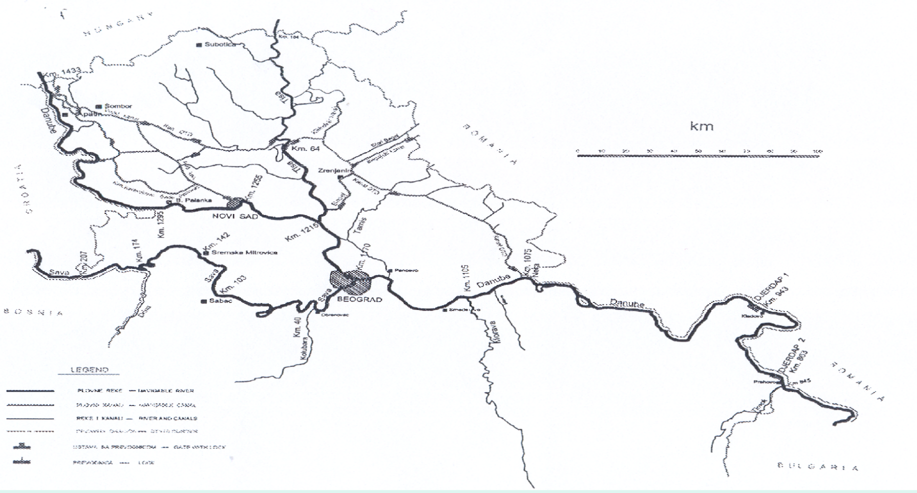
Склоп моторног теретњака и потиснице (тип „Европа“)
моторни теретњак: L_a= 84,8 m; B_a= 11,0 m; T_{km}= 2,4 m; H_k = 2,8 m
Dm = 2489,91 t; Q_r = 1891,59 t; Ninst= 1012 kW; v = 14 km/h.
потисница: L_a= 76,5 m; B_a= 11,4 m; T_{km}= 2,4 m; H_k = 2,8 m

II.ПОДУНАВСКИ ПЛОВИДБЕНИ СИСТЕМ ДУНАВСКА ПЛОВНА МРЕЖА

У оквиру овог излагања биће речи о следећем:

1.ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ
2.РЕКА ДУНАВ
3.РЕКА САВА
4. РЕКА ТИСА
5.ПЛОВИДБЕНИ СИСТЕМ ДУНАВ-ТИСА-ДУНАВ (ДТД)

1. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ



Мрежа унутрашњих пловних путева Србије

1. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ

Приказ дужине пловних путева у зависности од носивости пловила

Водоток	Укупна дужина пловног пута (km)	Дужина водотока (km) погодна за пловидбу пловила следећих носивости				
		до 150 t	до 400 t	до 650 t	до 1500 t	>1500 t
Дунав	588	588	588	588	588	588
Сава	207	207	207	207	207	-
Тиса	164	164	164	164	164	-
Тамиш	3	3	3	3	3	-
ХС (ДТД)	600	342	321	321	321	-
Укупно(km)	1562	1304	1283	1283	1283	588

1. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ

Пловни путеви међународног значаја у унутрашњим водама Србије су унутрашњи пловни путеви на којима важи међународна пловидба или пловидба најмање једне стране државе. Код нас такав статус имају три пловне реке:

– *Река Дунав*, на целом свом току кроз Србију од српско – мађарске границе, km 1433 до ушћа Тимока, km 845,5;
– *Река Тиса*, од мађарске границе, km 164 до ушћа у Дунав, km 0,00;
– *Река Сава* од хрватско – српске границе, km 207 до ушћа у Дунав, km 0,00 (код Београда).

Наша најважнија међународна река је Дунав на коме се током године оствари 80 – 90% укупног речног промета у нас.

2. РЕКА ДУНАВ

Приказ тока Дунава кроз 10 европских земаља

3. РЕКА САВА

- Дужина Саве износи 950 km. Пловна је у дужини од 587 km (Сисак) до ушћа у Дунав(Београд) км 0,00. Њена укупна површина слива од 95500 m^2 налази се на територији некадашње СФРЈ (Словенија, Хрватска, Босна и Херцеговина и Србија).
- На територији Србије река Сава има дужину од 207 km, тј. од ушћа код Београда (km 0,00) до границе са Хрватском код места Девојачка Кула – Јамена (km 207,00).

4. РЕКА ТИСА

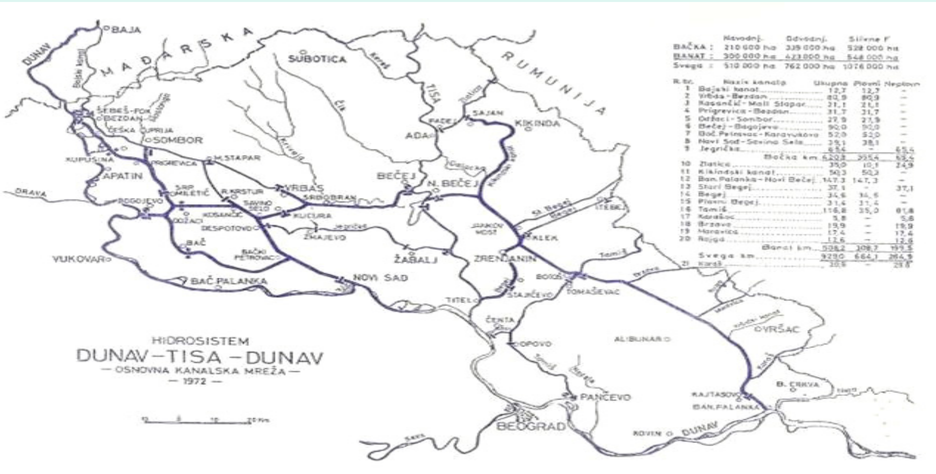
- Река Тиса је кроз Србију пловна у дужини од 164 km (од ушћа у Дунав код Сланкамена (km Дунава, 1215) до српско – мађарске границе). Иначе Тиса је пловна до места Токај у Мађарској , km 532 од њеног ушћа у Дунав.
- Укупна површина сливног подручја износи око 158.000 km^2. Сливно подручје Тисе простире се на пет држава (Украјина 8%, Румунија 48%, Словачка 9%, Мађарска 30% и Србија 5%).
- Са пловним каналом Дунав-Тиса-Дунав (ДТД) Тиса је повезана бродском преводницом код Новог Бечеја.

5. ПЛОВИДБЕНИ СИСТЕМ ДУНАВ-ТИСА-ДУНАВ (ДТД)

- Систем ДТД чини мрежа природних водотока (од којих је већина каналисана) и мрежа вештачких канала, у укупној дужини од 930 km, од чега се 600 km односи на мрежу пловних путева.
- У погледу пловидбе на каналу Дунав – Тиса – Дунав, а у зависности од димензија канала, постоје три типа меродавних пловила чија је носивост: 1000 t, 500 t и 200 t.

(димензије: L = 72,00;59,10;34,0 m;
B = 10,0;7,20;5,80 m; T = 1,95;1,80;1,30 m)

5. ПЛОВИДБЕНИ СИСТЕМ ДУНАВ-ТИСА-ДУНАВ (ДТД)



Основна каналска мрежа Хидроситема ДТД

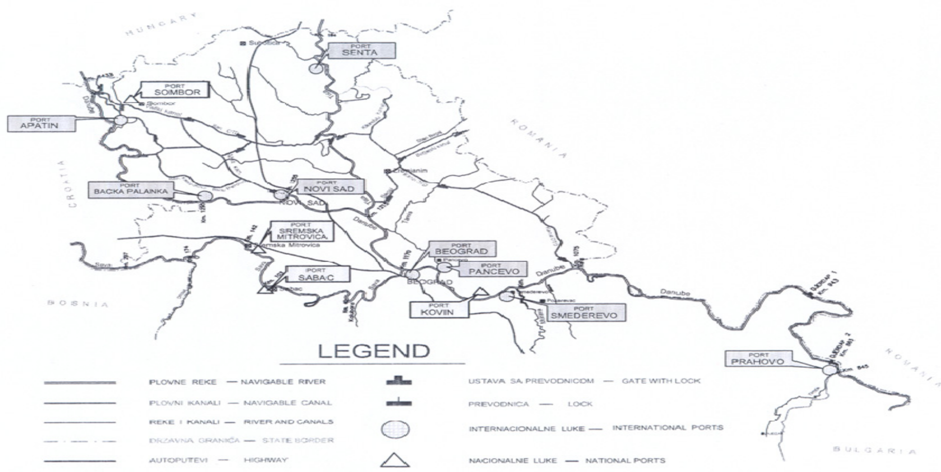
5. ПЛОВИДБЕНИ СИСТЕМ ДУНАВ-ТИСА-ДУНАВ (ДТД)

ПРИКАЗ КАНАЛА ДТД ЗА ПЛОВИДБУ БРОДОВА ОД 1000 t

Назив канала	Дужина канала (km), за пловила носивости 1000 t
Бечеј-Богојево	82.20
Врбас-Бездан	6.30
Нови Сад-Савино Село	39.10
Оџаци-Сомбор	27.90
Банатска Паланка-Нови Бечеј	147.30
Бегеј	34.80
Укупно:	337.60

ДУЖИНА КАНАЛА ЗА ПЛОВИЛА НОСИВОСТИ ОД 500 t ИЗНОСИ 215,3 km, А ЗА ПЛОВИЛА ОД 200 t ИЗНОСИ 45,8 km. УКУПНА ДУЖИНА ПЛОВНИХ КАНАЛА ИЗНОСИ 598,7 km

III. ЛУКЕ И ПРИСТАНИШТА НА УНУТРАШЊИМ ПЛОВНИМ ПУТЕВИМА СРБИЈЕ



Положај лука на унутрашњим пловним путевима Србије

1.Лука „НАПРЕДАК“, Апатин (km 1401, на левој обали Дунава) – каналски тип луке

2.Лука „ДУНАВ“ Богојево (km 1338 на левој обали Дунава) – отворени тип луке

3.Лука „БАЧКА ПАЛАНКА“ Бачка Паланка (km 1295, на левој обали Дунава) – базенски тип луке

4.Лука „НОВИ САД“ Нови Сад (km 1253, на левој обали Дунава) – у каналу ДТД (Савино село km 0,4)

5.Лука „БЕОГРАД“ Београд (km 1168, на десној обали Дунава) – базенски тип луке

6.Лука „ДУНАВ“ Панчево (km 1153, на левој обали Дунава) – базенски тип луке

7.Лука „КОВИН“ Ковин (km 1108, на левој обали Дунава) – базенски тип луке

Простор за изградњу луке износи 60 ha. Базенског је типа са акваторијом површине 10 ha, дубине 6m и 4 места за једновремени привез пловила. Предвиђена дужина кеја је 600 m. Лука има у плану изградњу 2.000 m железничких колосека.

8.Лука „СМЕДЕРЕВО“ Смедерево (km 1116 – стари део, km 1111 – нови део, на десној обали Дунава) – отворени тип луке

9.Лука „ПРАХОВО“ прахово (km 861, десна обала Дунава, на излазу из наше земље) – базенски тип луке

10.Лука „ЛЕГЕТ“ Сремска Митровица (km 133, на левој обали Саве) – базенски тип луке

11.Лука „ШАБАЦ“ Шабац (km 98, десне обале Саве) – базенски тип луке

Предвиђени простор за развој Слободне зоне „Шабац“ заснован је на природном базену са акваторијом површине 4,5 ha, дубине 12 m и са 4 места за једновремени привез пловила. Слободна зона заузима површину од 34 ha. Дужина железничких колосека је 2.751 m.

12.Лука „СОМБОР“ Сомбор (km 29, Велики Бачки канал ДТД) – каналски тип луке

13.Лука „ПОТИСЈЕ“ Сента (km 122 десне обале Тисе) – отворени тип луке

IV.Генерална SWOT анализа нашег речног саобраћаја са основним циљевима и принципима даљег развоја

SWOT анализа представља аналитичку методу којом се дефинишу критични фактори који имају највећи утицај на пословање предузећа или неке привредне гране на тржишту. Она се обавља кроз матрицу коју чине 4 елемента:

- S – Strengths (снаге),
- W – Weaknesses (слабости),
- O – Opportunities (шансе и могућности),
- T – Threats (опасности и претње).

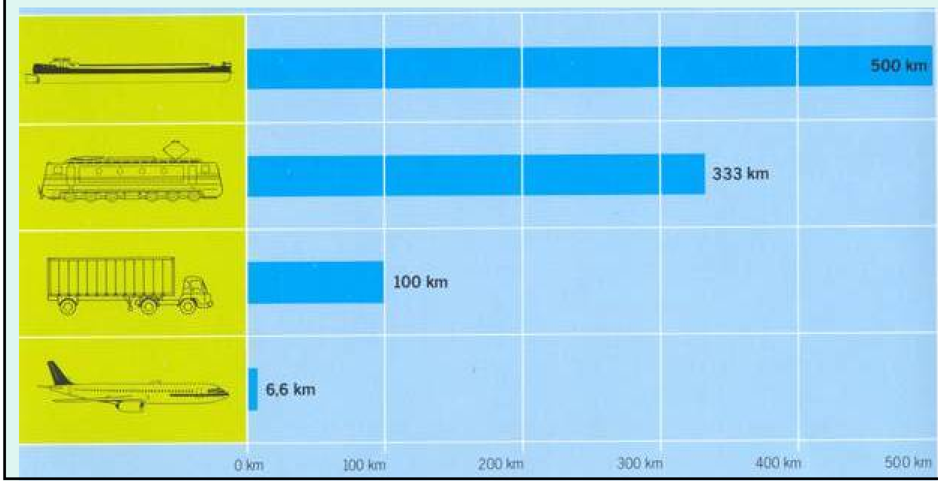
Почетна слова ових елемената (на енглеском језику) дају назив ове методе – SWOT. *Снаге* представљају позитивне, а *слабости* негативне унутрашње факторе. *Шансе* представљају позитивне, а *претње* негативне спољашње факторе.

ГЕНЕРАЛНА SWOT АНАЛИЗА - СНАГА, оно што чини данашње ресурсе за будићи посматрани развој.

- Посматрајући последњих деценија развој речног, друмског и железничког транспорта, у водном превожењу се осећа највећи пораст продуктивности.
- Тај напредак је резултат значајног техничког развоја који је омогућен појавом састава потискиваних теретњака као и великих самоходних моторних теретњака.

ГЕНЕРАЛНА SWOT АНАЛИЗА - СНАГА, оно што чини данашње ресурсе за будићи посматрани развој.

ГЕНЕРАЛНА SWOT АНАЛИЗА - СНАГА, оно што чини данашње ресурсе за будићи посматрани развој.



ГЕНЕРАЛНА SWOT АНАЛИЗА - СНАГА, оно што чини данашње ресурсе за будући посматрани развој

Речни саобраћај у односу на друге видове транспорта има *најниже трошкове по тони превезене робе, захтева мање погонске енергије, најмање радне снаге, а такође изазива и најмање штетних последица (бука, загађивање животне средине, несреће)*.

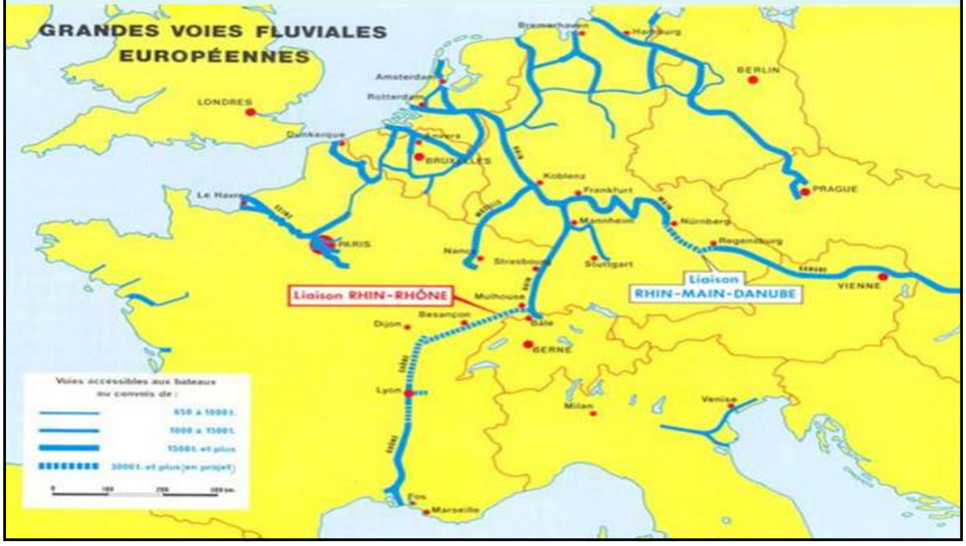
ГЕНЕРАЛНА SWOT АНАЛИЗА - СЛАБОСТИ у развоју водног саобраћаја у Србији

- Застарелост и неодржавање расположиве флоте, њено стално смањивање и необнављање новим бродовима;
- Непостојање Ro – Ro терминала ни у једној луци на унутрашњим пловним путевима Србије;
- Недостатак малих специјализованих пристаништа на унутрашњим пловним путевима Србије, као и на пловним каналима Дунав – Тиса – Дунав (ДТД);
- Мали број савремених самоходних теретњака;
- Нерегулисаност за пловидбу већег дела пловних канала ДТД;
- Делимична развијеност информационог система у транспортној и лучкој делатности;
- Непостојање организације тржишта у водном саобраћају (нема берзе терета, превозних капацитета, као нпр. у Европи – Француска).

ГЕНЕРАЛНА SWOT АНАЛИЗА - МОГУЋНОСТИ – потенцијал који Србија може да оствари у будућности у смислу свог развоја

- Формирањем водне саобраћајнице од Ротердама до Сулине укупне дужине од 3.505 km, од чега на Србију отпада 588 km, створени су изванредни услови за реафирмацију водног саобраћаја у нашој земљи у склопу српског саобраћајног система и шире.
- Изградњом ове магистрале нашим бродовима се отварају пловни путеви Француске, Белгије и Холандије, а преко канала у Немачкој и до осталих подручја Западне Европе.

ГЕНЕРАЛНА SWOT АНАЛИЗА - МОГУЋНОСТИ – потенцијал који Србија може да оствари у будућности у смислу свог развоја



ГЕНЕРАЛНА SWOT АНАЛИЗА - ПРЕТЊЕ које чине могућу препреку на путу остварења могућности развоја

- Неизвестан положај бродарских предузећа, бродоградилишта и лука у периоду приватизације (у Европи луке нису приватизоване);
- Бродарска предузећа и бродоградилишта се затварају, луке већином мењају своју намену;
- Недефинисани робни токови у домаћем и транзитном робном саобраћају.

IV.Генерална SWOT анализа нашег речног саобраћаја са основним циљевима и принципима даљег развоја

ОСНОВНИ ЦИЉЕВИ И ПРИНЦИПИ ДАЉЕГ РАЗВОЈА ВОДНОГ САОБРАЋАЈА У СРБИЈИ

У припремању и техничкој обради овог предавања учествовали су и чланови Одсека за водни саобраћај и транспорт Саобраћајног факултета Универзитета у Београду:

Проф. др Златко ХРЛЕ
Проф. др Катарина ВУКАДИНОВИЋ
Мр Александар РАДОЊИЋ
Др Владислав МАРАШ
Мр Данијела ПЈЕВЧЕВИЋ

Као и Ивана ВУКИЋЕВИЋ, студент Мастер студија на Одсеку за водни саобраћај и транспорт

Хвала вам на пажњи!

Академија инжењерских наука Србије

Проф. Др Бошко Рашуо

Приступно предавање, 6. Фебруар 2013.

-Рођен сам 28. маја 1949. године у Београду.
-Основну и средњу школу завршио сам у Београду 1968.
-Дипломирао сам на Машинском факултету у Београду, смер за Аерокосмотехнику 28. јануара 1974. год. из аеродинамике великих брзина, са темом: Визуализације надзвучних струјања и пројектовања уређаја за визуализацију.
-Још као студент, 1973. године, почео сам да радим на Машинском факултету у оквиру ЈУР-а за Аеротехнику на пројекту авиона УТВА-75 у својству истраживача-сарадника.
-У звање асистента-приправника изабран сам 1975. год. на истом факултету.
-У периоду 1976-1977 у Рајловцу завршио сам Школу резервних официра ваздухопловно-техничке струке (43 класа).
-Усавршавање сам наставио у области Ваздухопловства на Машинском факултету, где сам магистрирао 1980. године са темом из области Трансоничних аеротунела и развојем трансоничног аеротунела Машинског факултета Универзитета у Београду.
-У звање асистента, на Машинском факултету за групу предмета аеродинамике, изабран сам 1981. године.
-Докторирао сам на Машинском факултету 1988. год. на тему Утицаја зидова трансоничних аеротунела и тачности измерених аеродинамичких величина при аеродинамичким испитивањима.
- У звање доцента на истом факултету изабран је 1989. године, у звање ванредног професора 1995. године, а у звање редовног професора, за ужу научну област Ваздухопловство, 2000. године.

На Машинском факултету предајем следеће предмете:

на основним студијама:
-Механику лета, и
-Конструкцију и технологију производње летелица, а

на дипломским студијама:
-Перформансе летелица,
-Динамику лета,
-Одржавање летелица, и
-Бионику у дизајну.

на докторским студијама:
-Механику лета,
-Динамику лета,
-Изабрана поглавља из аеродинамике,
-Технологију производње летелица и
-Ваздухопловнотехничко обезбеђење.

Области научног рада и научно-истраживачка остварења:

- Теоријска и експериментална аеродинамика,
- Пројектовање и развој аеротунелских експерименталних инсталација,
- Механика лета,
- Динамика лета,
- Интеракција флуид-структура,
- Структурална анализа, толерантност на оштећење ваздухопловних конструкција и борбена жилавост,
- Замор материјала,
- Композитни материјали,
- Енергија ветра и развој Еолских енергетских система,
- Технологија производње и одржавања летелица,
- Бионика...

Инжењерске реализације

Најзначајнији пројекти у области ваздухопловства

Реализовани пројекти летелица

Утва 75

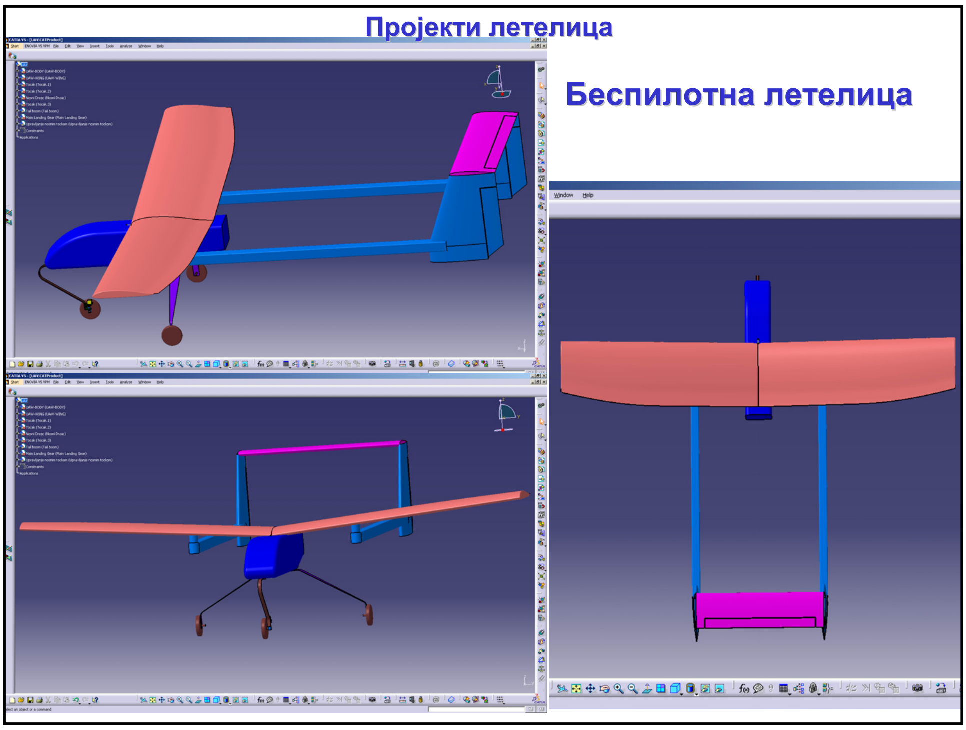

Реализовани пројекти летелица
Вук-Т


Реализовани пројекти летелица
Прелазно-тренажна двоседа једрилица "Кошава-2-С"
Једномоторна једрилица “Лиска"
SOKO SL 40 LISKA


Пројекти летелица
YU-BGD
Пољопривредни авион “Мома-86“


Пројекти летелица
YU-BGD
1—KOMPOZITNI MATERIJALI ... 37%
2—ČELIK ... 29%
3—LEGURE ALUMINIJUMA ... 3%
4—OPREMA ... 14%
5—POGONSKA GRUPA ... 17%
Пољопривредни авион “Мома-86“

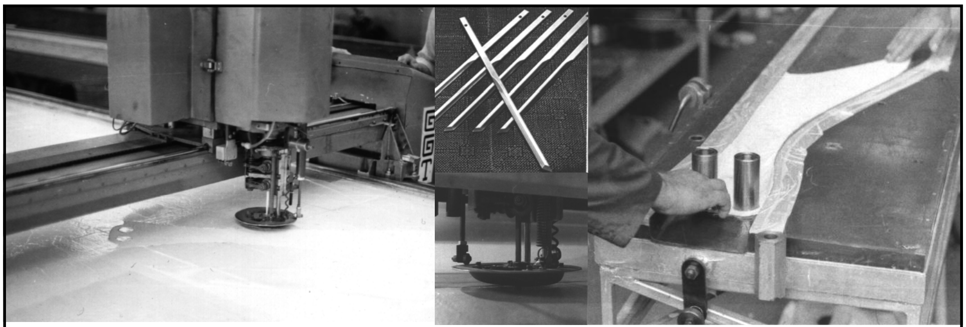

Модел пољопривредног авиона Мома-86 у аеротунелу АТ-СБ-1
Машинског факултета Универзитета у Београду


Пројекти летелица
Беспилотна летелица

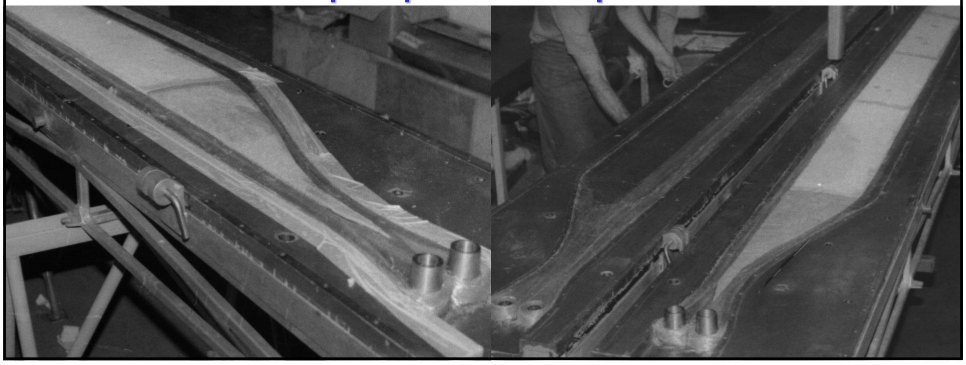
Учешће у пројектовању, развоју и реализацији три хеликоптерске лопатице:
1 за главни ротор хеликоптера Gazela,
1 лопатицу за репни ротор хеликоптера Mi-8, и
1 за главни ротор хеликоптера Mi-8

Реализовани пројекти хеликоптерских лопатица

Главни ротор хеликоптера Gazela



Главни ротор хеликоптера Gazela



Реализовани пројекти хеликоптерских лопатица

Главни ротор хеликоптера Mi-8


Репни ротор
хеликоптера Mi-8


Дефинисање потребне методологије за продужење ресурса
коришћења следећих ваздухопловних ракета
R-27R1
1m
R-60K, R-60MK
R-73E
R-13M
50 годы
K-13
R-3R

Нерализовани пројекат хеликоптера

Визибилити студија хеликоптера VNH-90

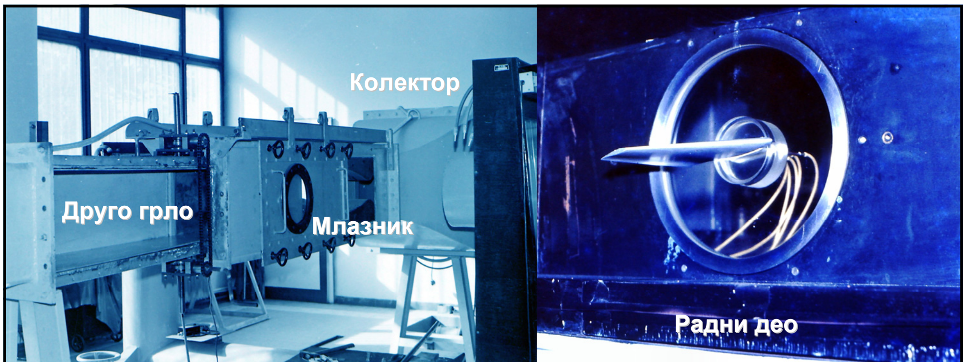
Нерализовани пројекат хеликоптера

Визибилити студија хеликоптера VNH-90

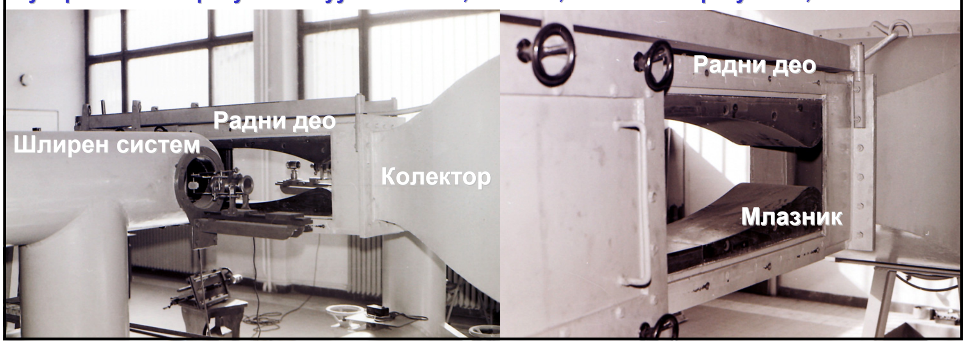
Доприноси развоју услова научно-истраживачког рада:

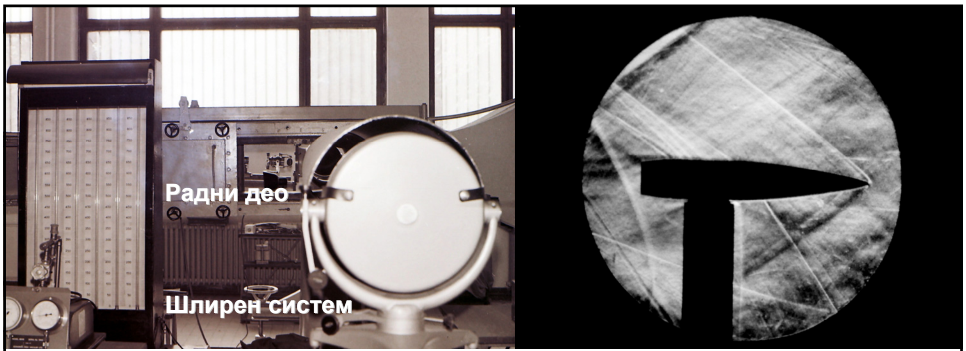
Најзначајнија остварења и доприноси развоју услова научно-истраживачког рада су:

Посебан допринос сам остварио у развоју лабараторија Машинског факултета у оквиру катедре за Ваздухопловство, и то:
-развој аеротунела великих брзина AT-VB-1,
- **Допринос се састоји у пројекту, развоју и изградњи: Шлирен уређаја за визуализацију струјања у суперсоничним струјним пољима,**
- **другог грла аеротунела за контролу струјања у радном делу,**
- **нове вакуумске станице, и**
- **пројекта трансоничног радног дела са перфорираним зидовима, као и**
- **развој и изградња сушаре аеротунела великих брзина AT-VB-1.**

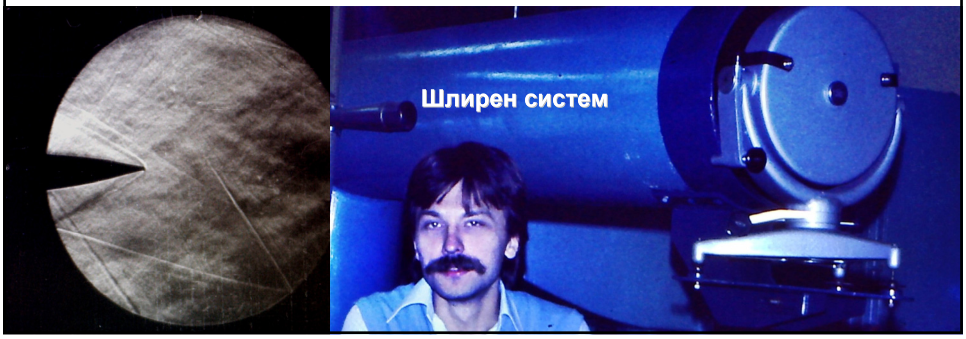


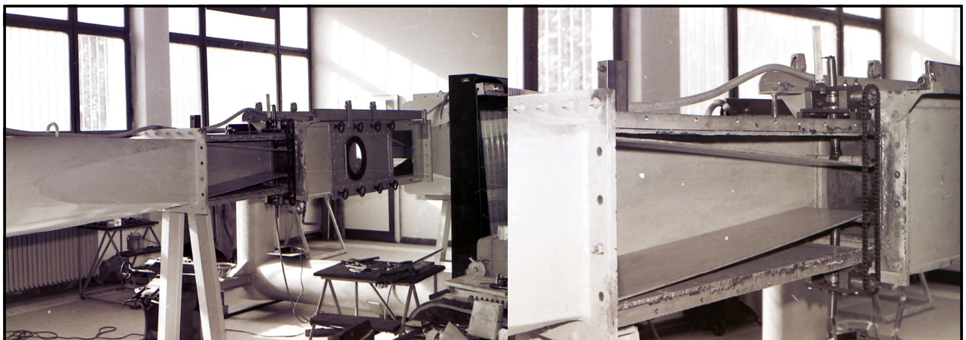
Суперсонични аеротунел вакуумског типа, AT-VB-1, Машинског факултета, 300 x 240 mm



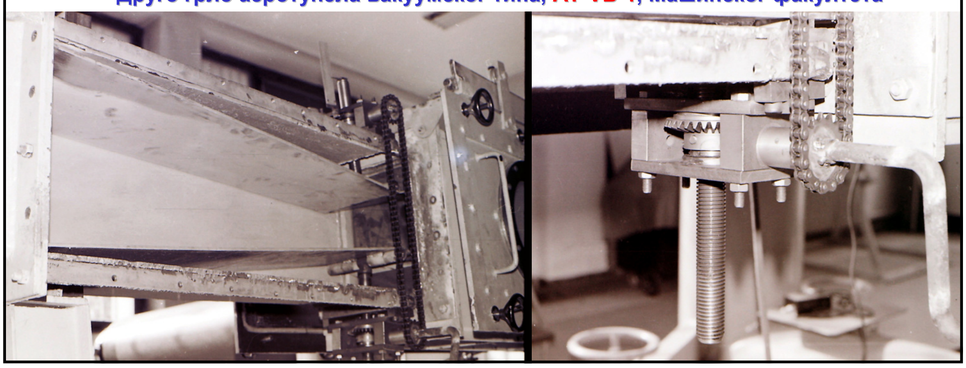


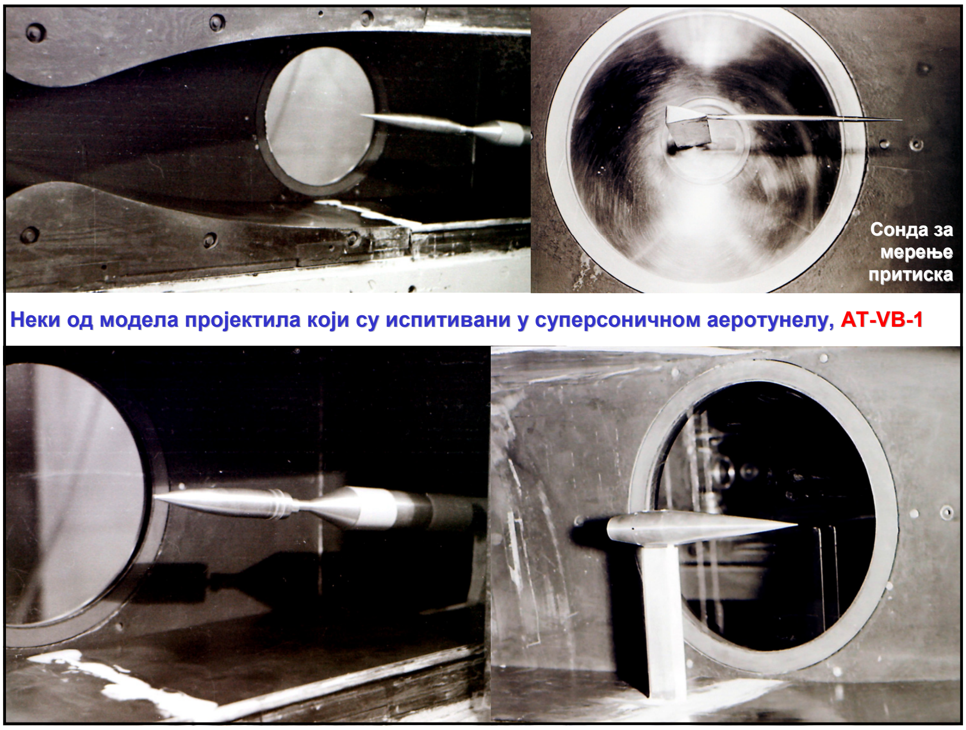
Шлирен систем за визуализацију струјања у аеротунелу, AT-VB-1, Машинског факултета

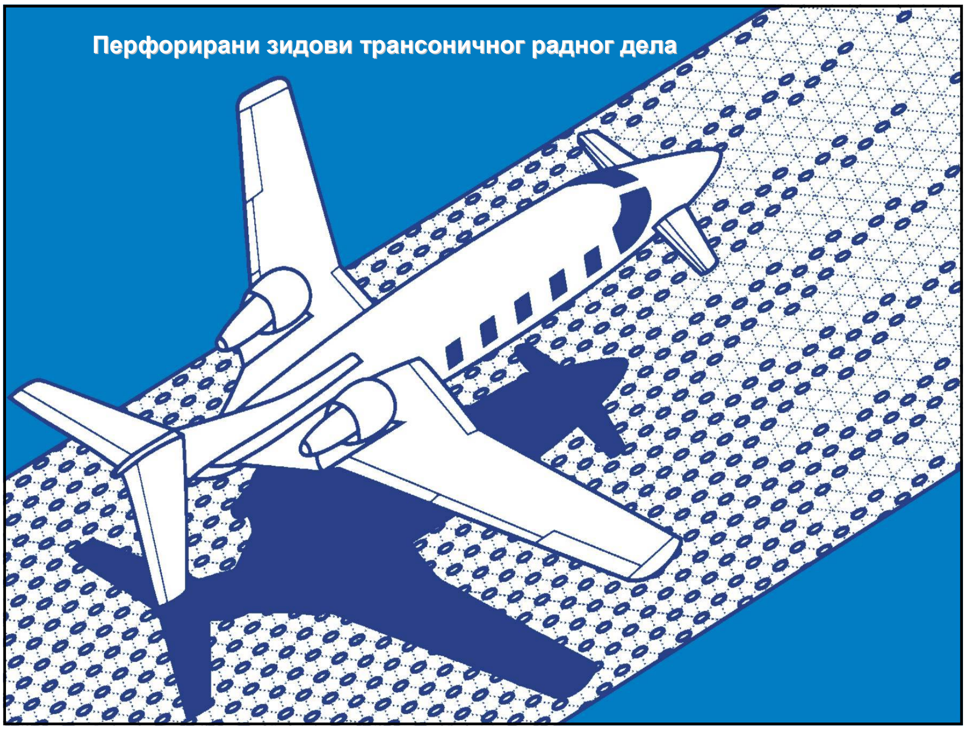




Друго грло аеротунела вакуумског типа, AT-VB-1, Машинског факултета

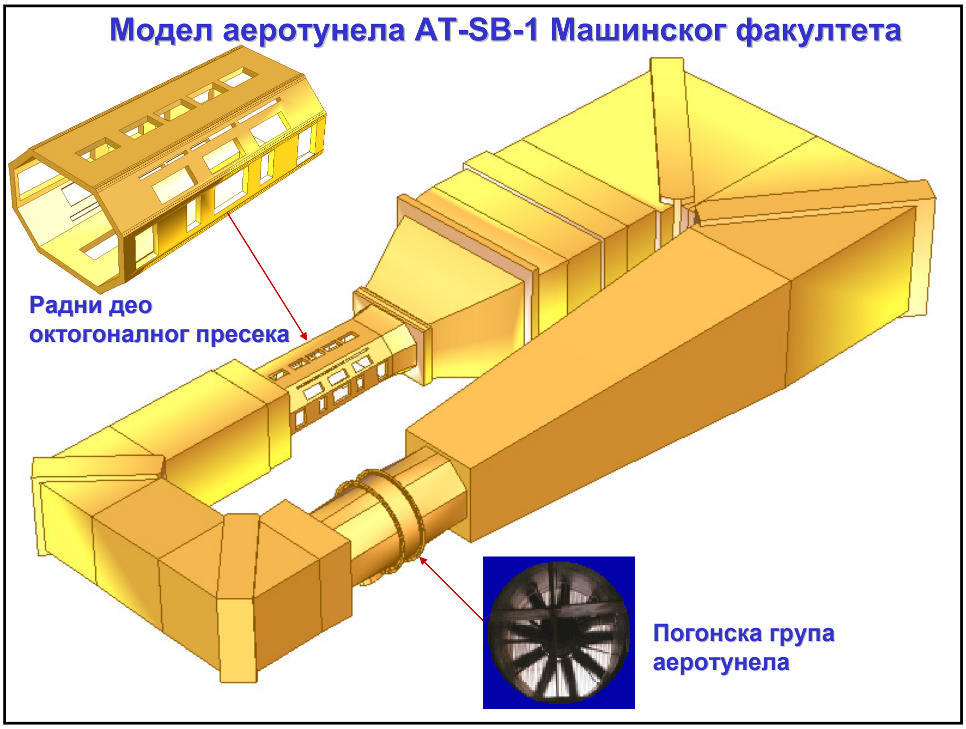



Сонда за
мерење
притиска
Неки од модела пројектила који су испитивани у суперсоничном аеротунелу, AT-VB-1


Перфорирани зидови трансоничног радног дела

Доприноси развоју услова научно-истраживачког рада:

Такође, активно сам учествовао и дао главни допринос у реализацији пројекта завршетка изградње зграде подзвучног аеротунела AT-SB-1 у оквиру које је изграђена нова машинска радионица и моделарница за израду модела за аеродинамичка испитивања у аеротунелима Машинског факултета.

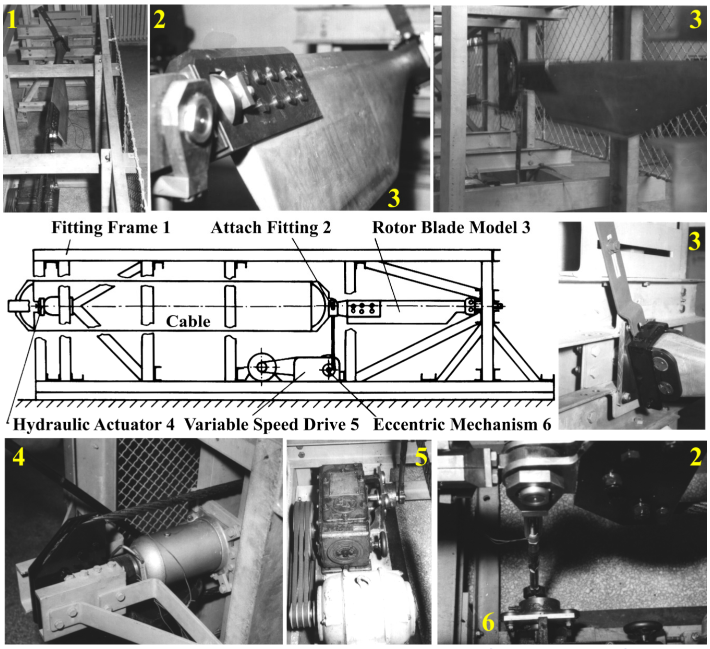

Модел аеротунела AT-SB-1 Машинског факултета
Радни део
октогоналног пресека
Погонска група
аеротунела


Радни део, поглед из колектора

Доприноси развоју услова научно-истраживачког рада:

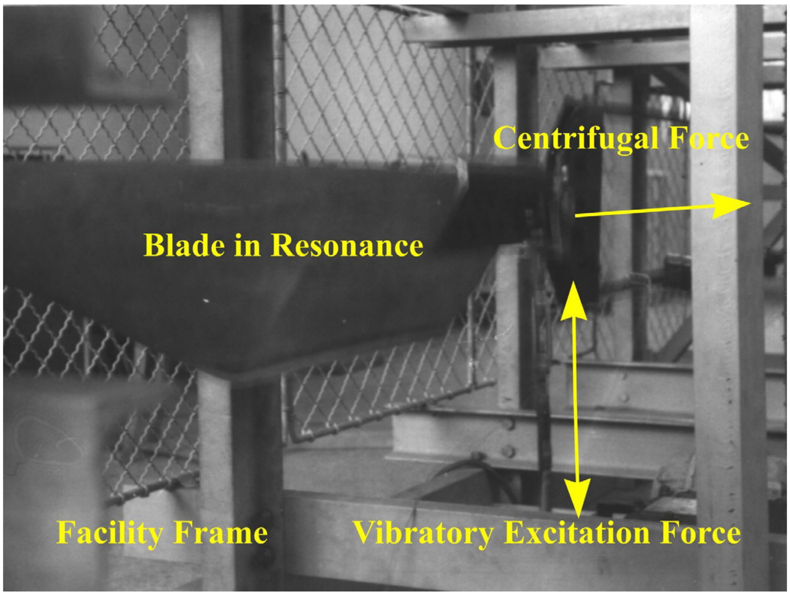
- **Формирао сам потпуно нову лабораторију за хомологациона испитивања и испитивања на замор ваздухопловних конструкција у правој величини.**
- **Учествовао сам у оснивању новог Модула за ДИЗАЈН У МАШИНСТВУ, 2008 године на Машинском факултету, Универзитета у Београду у оквиру кога је основан нови истраживачки правац: БИОНИКА У ДИЗАЈНУ.**

лабораторија за испитивања на замор ваздухопловних конструкција



The helicopter main and tail rotor blade fatigue test facility

лабораторија за испитивања на замор ваздухопловних конструкција



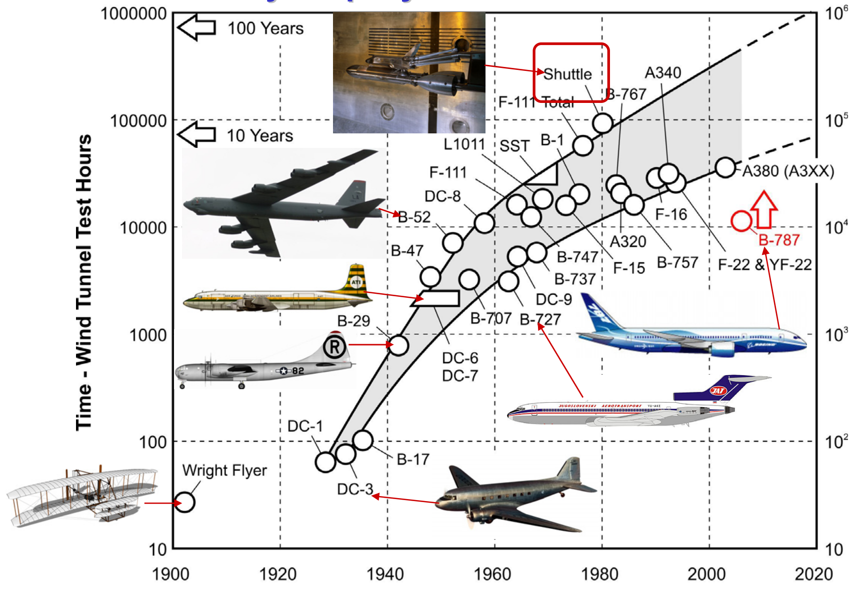
The main rotor blade in fatigue testing

Статус аеротунелских испитивања

Аеротунели "против" компјутера

О тачности аеродинамичких експеримената

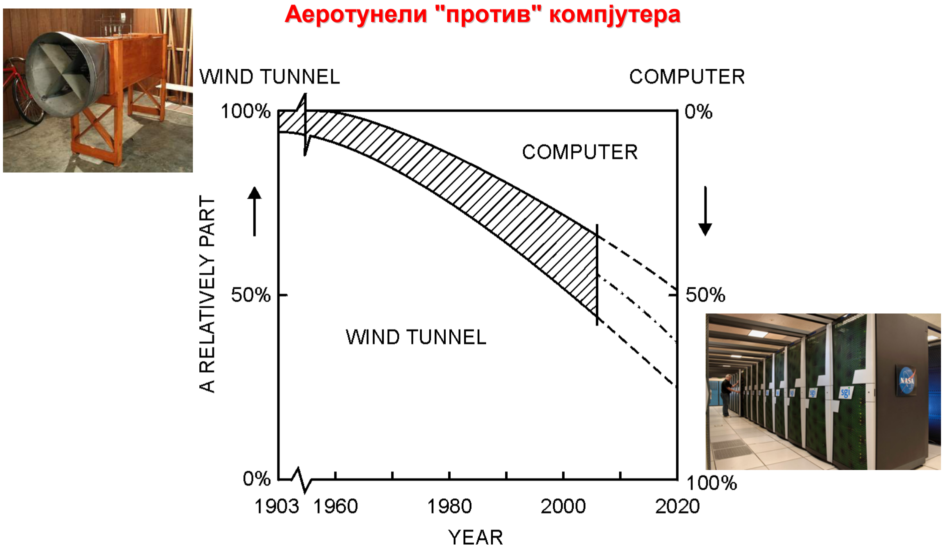
Статус аеротунелских испитивања



Време трајања аеротунелских испитивања нових авиона у фази њиховог развоја

Статус аеротунелских испитивања

Аеротунели "против" компјутера



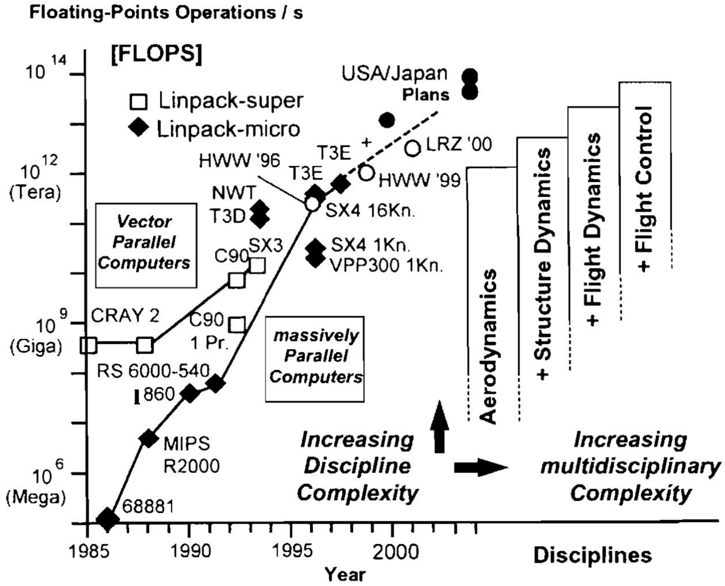
Удео аеротунелских испитивања у пројектовању, истраживању и развоју нових авиона

Статус аеротунелских испитивања

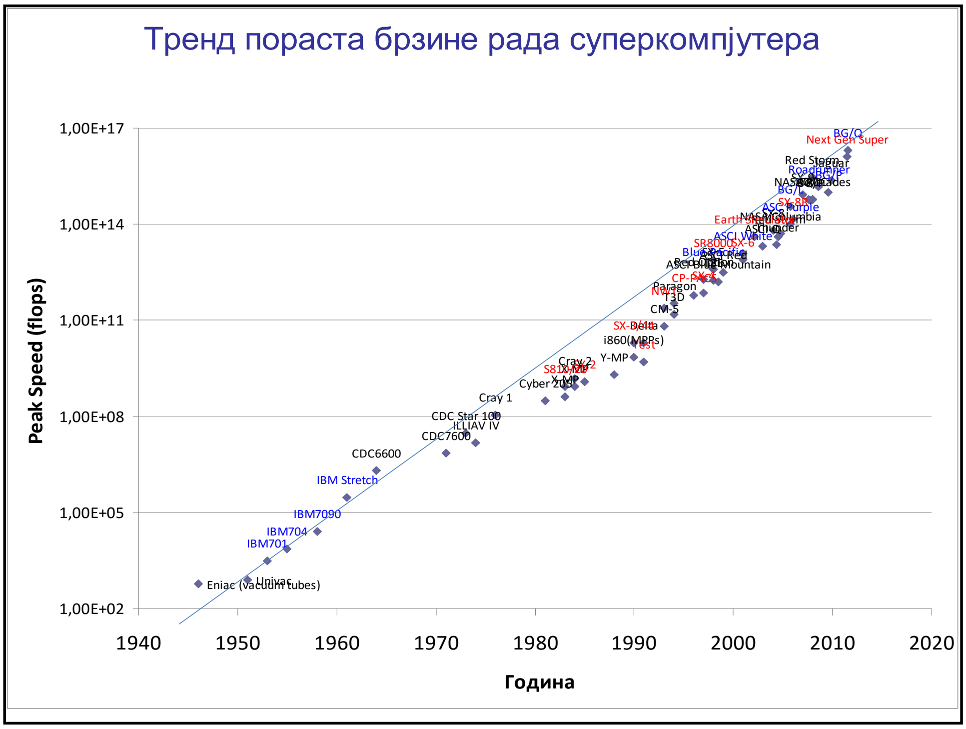
Аеротунели "против" компјутера

Развој компјутера

Развој карактеристика суперкомпјутера који се користе у ваздухопловству

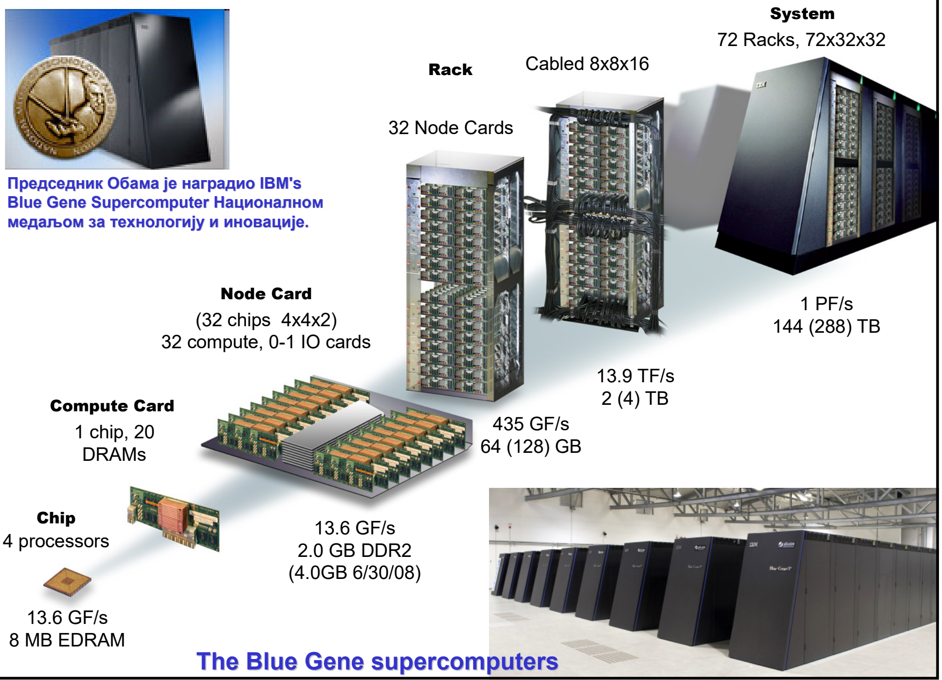


Развој перформанси компјутера као и комплексности интердисциплинарних прорачуна које се користе у пројектовању летелица. (HWW: "High-performance Computing Center for Science and Industry" (Stuttgart), I.R.Z: "Leibniz Computing Center" (Munich))


Тренд пораста брзине рада суперкомпјутера
Peak Speed (flops)
1,00E+17
1,00E+14
1,00E+11
1,00E+08
1,00E+05
1,00E+02
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
2010
2020
Година
BG/Q
Next Gen Super
Red Storm
NASA
ASCI White
ASCI Red
Paragon
T3D
CM-5
SX-3
Delta
i860 (MPPs)
Y-MP
Cray 2
X-MP
S810/20
Cyber 205
Cray 1
CDC Star 100
ILLIAV IV
CDC7600
CDC6600
IBM Stretch
IBM7090
IBM704
IBM701
Univac
Eniac (vacuum tubes)


Фактор пораста перформанси компјутера
Super Scalar/Vector/Parallel
1 PFlop/s
(10^{15})
1 TFlop/s
(10^{12})
1 GFlop/s
(10^{9})
1 MFlop/s
(10^{6})
1 KFlop/s
(10^{3})
IBM
BG/L
Parallel
ASCI Red
ASCI White
Pacific
TMC CM-5
Cray T3D
2X Transistors/Chip
Every 1.5 Years
Vector
TMC CM-2
Cray 2
Cray X-MP
Super Scalar
Cray 1
CDC 7600
IBM 360/195
Scalar
CDC 6600
IBM 7090
UNIVAC 1
EDSAC 1
1941 1 (Floating Point operations / second, Flop/s)
1945 100
1949 1,000 (1 KiloFlop/s, KFlop/s)
1951 10,000
1961 100,000
1964 1,000,000 (1 MegaFlop/s, MFlop/s)
1968 10,000,000
1975 100,000,000
1987 1,000,000,000 (1 GigaFlop/s, GFlop/s)
1992 10,000,000,000
1993 100,000,000,000
1997 1,000,000,000,000 (1 TeraFlop/s, TFlop/s)
2000 10,000,000,000,000
2005 131,000,000,000,000 (131 Tflop/s)
1950
1960
1970
1980
1990
2000
2010

Архитектура суперкомпјутера BlueGene/P

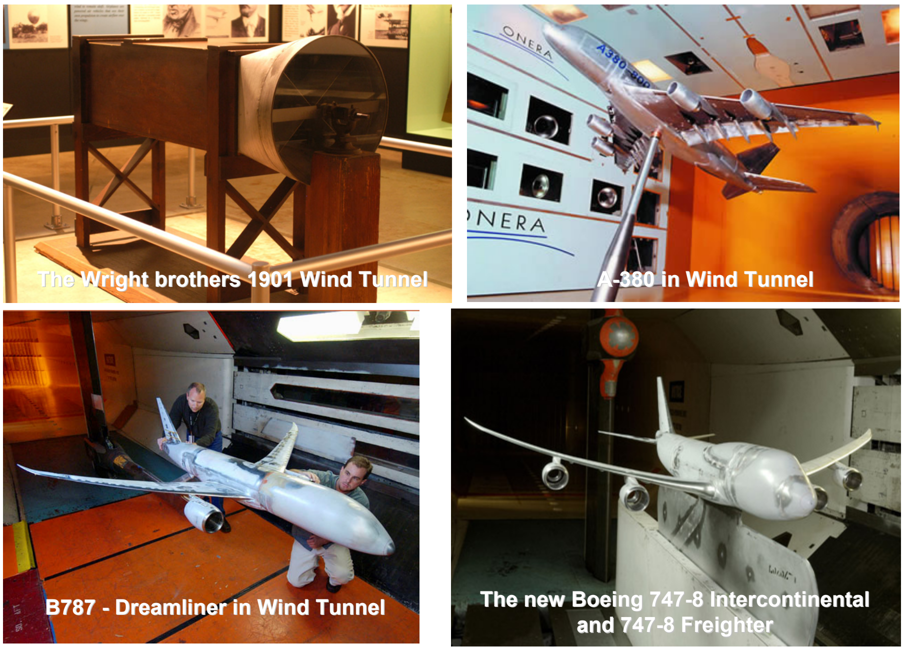


Статус аеротунелских испитивања

Аеротунели "против" компјутера

Развој аеротунела

Статус аеротунелских испитивања



Статус аеротунелских испитивања

Current status of 787 Dreamliner Design Progress

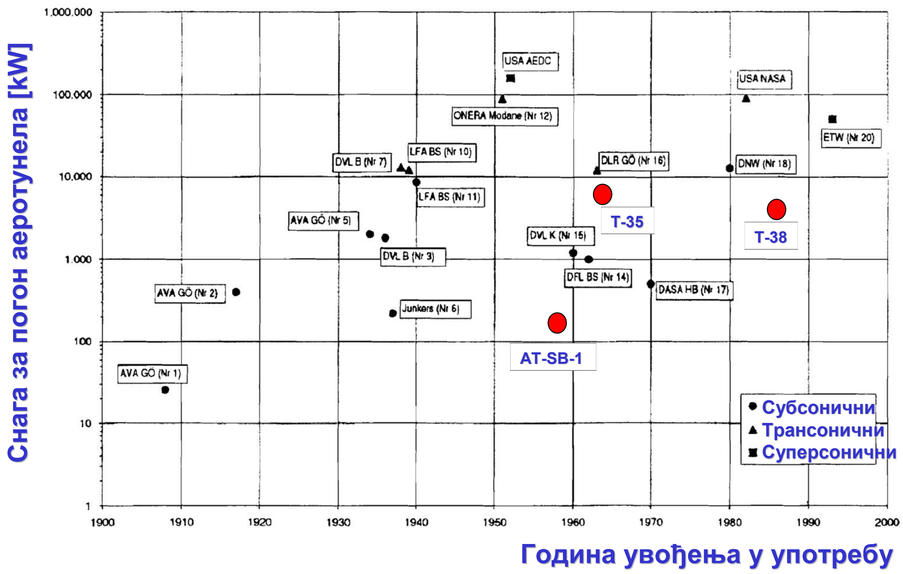
Design time on computers 800,000 h of computing time on Cray supercomputers VS. Hours of wind tunnel tests 15,000 hours of wind tunnel tests

Source: http://newairplane.com/default.html

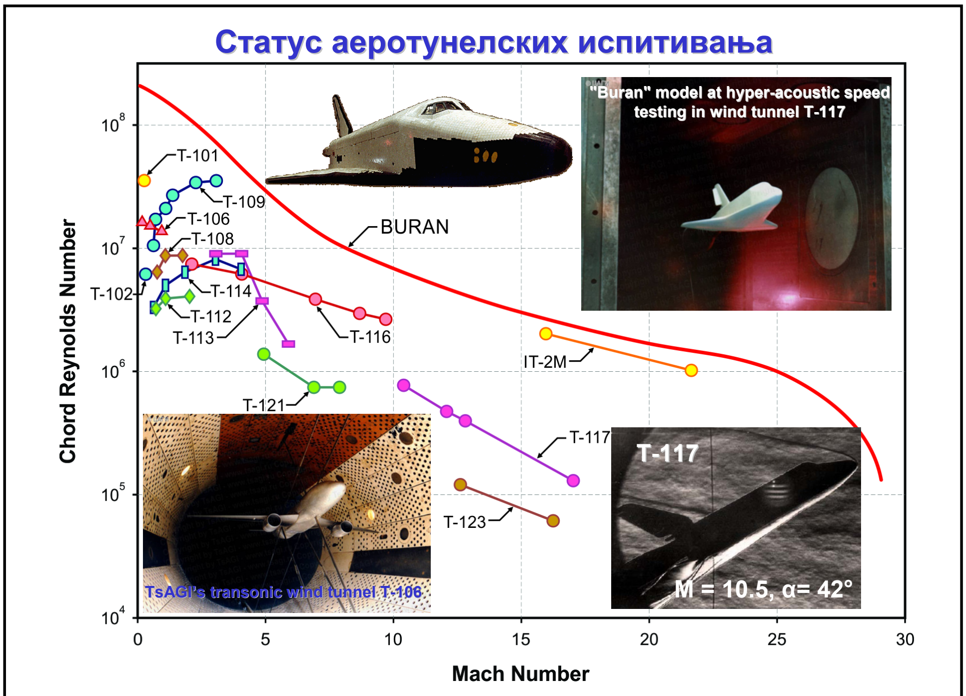
Статус аеротунелских испитивања

Wind tunnel tests of the A350 configuration

Поређење инсталисане снаге погонских група великих аеротунела

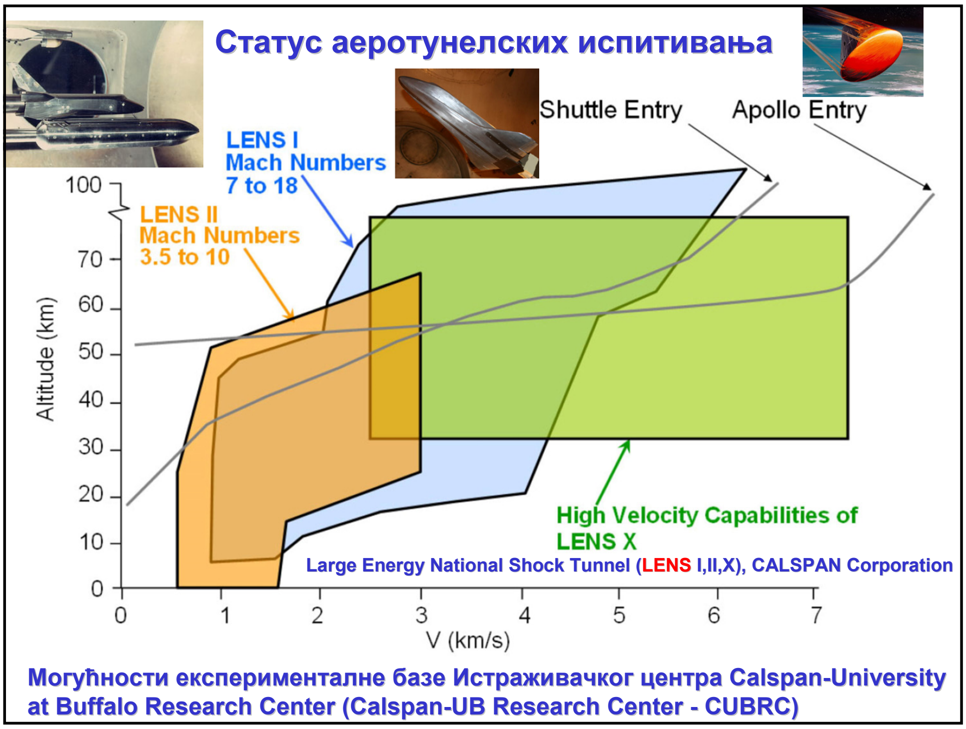


Повећање радних перформанси (инсталисане снаге) великих аеротунела



Могућности експерименталне базе ЦАГИ Института

Анвелопа аеротунела ЦАГИ Института обзиром на Буранову путању у повратку


Статус аеротунелских испитивања
Shuttle Entry
Apollo Entry
LENS I
Mach Numbers
7 to 18
LENS II
Mach Numbers
3.5 to 10
High Velocity Capabilities of
LENS X
Large Energy National Shock Tunnel (LENS I,II,X), CALSPAN Corporation
Altitude (km)
V (km/s)
100
70
60
50
40
30
20
10
0
1
2
3
4
5
6
7
Могућности експерименталне базе Истраживачког центра Calspan-University at Buffalo Research Center (Calspan-UB Research Center - CUBRC)


Статус аеротунелских испитивања
LENS-II
LENS-I
LENS I
Mach Numbers
7 to 18
LENS X
Expansion Tunnel
LENS-X
Shuttle Entry
LENS II
Mach Numbers
3.5 to 8
Altitude (km)
AEDC Tunnel 9
AEDC H2 ARC
NASA GLENE HTF (Plume Brook)
NASA Langley 8" HTT
AEDC Tunnel C
AEDC APTU
CAV
Flight
Envelope
V (km/s)
100
70
60
50
40
30
20
10
0
1
2
3
4
5
6
7
Анвелопа USA аеротунела обзиром на путање Shuttle-а у повратку и будућих пројеката TSTO, cruise and acceleration vehicles (CAV)

Статус аеротунелских испитивања

Аеротунели "против" компјутера

Трансонична област брзина

Статус аеротунелских испитивања

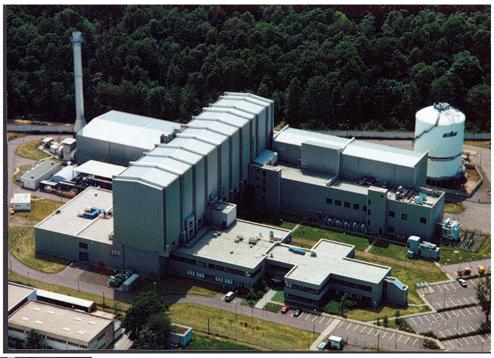
Да ли ће се градити нови аеротунели?
Одговор је потврдан и имамо га у чињеници да се аеротунели још увек граде широм света, а посебно они гигантски и скупи, као што су NASA's cryogenic wind tunnel at Langley – NTF (National Transonic Facility), USA

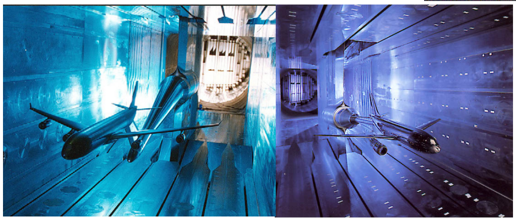
Pathfinder II модел у NTF аеротунелу

Source: NASA

Статус аеротунелских испитивања

и the European cryogenic transonic wind tunnel - ETW, са ценама које су премашиле пола милијарде долара (Од 1995, после пуштања у рад и калибрације, ETW аеротунел је у пуној употреби, обављајући бројна испитивања и потврђујући пројектом предвиђене перформансе).

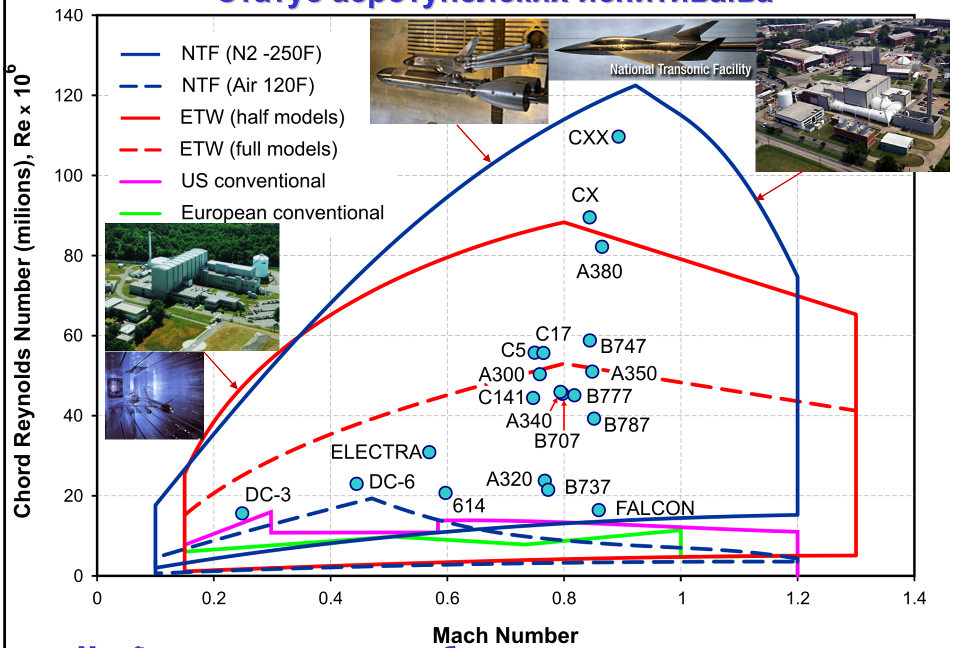




Радни део са зидовима са процепима

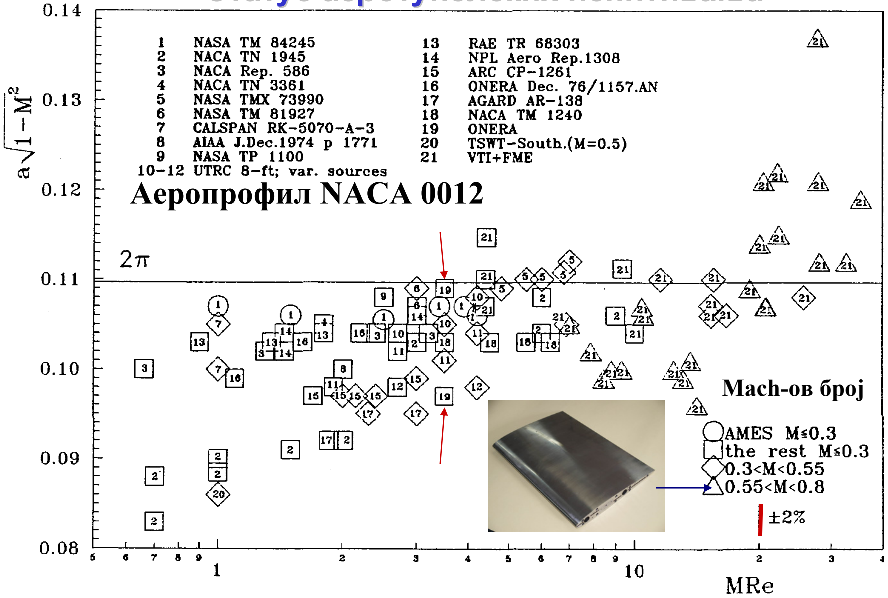
Source: ETW (European Transonic Windtunnel)

Статус аеротунелских испитивања



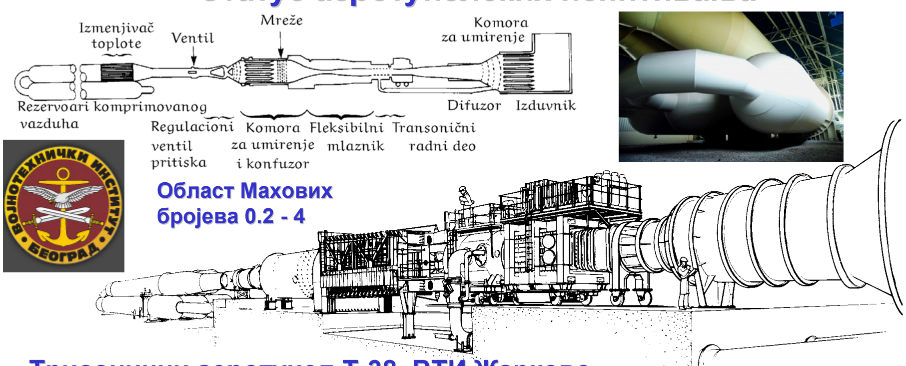
Могућности експерименталне базе светских аеротунела у трансоници

Статус аеротунелских испитивања



Поређење свих прикупљених резултата аеротунелских испитивања градијента криве узгона у функцији Reynolds-овог и Mach-овог броја

Статус аеротунелских испитивања

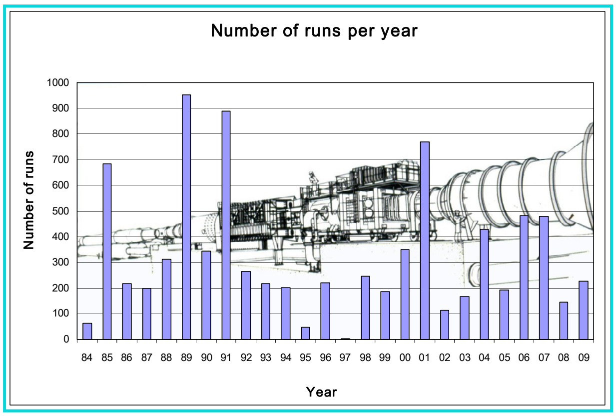


Трисонични аеротунел Т-38, ВТИ Жарково

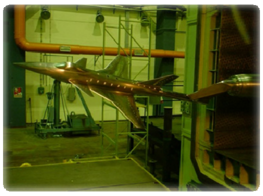
1.5x1.5 m 3-Д радни део

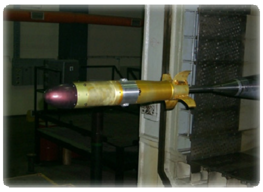
Статус аеротунелских испитивања

Приказ досадашњих истраживања у аеротунелу Т-38



- 96% укупног времена - тестирање ракета
- 4% укупног времена - тестирање авиона



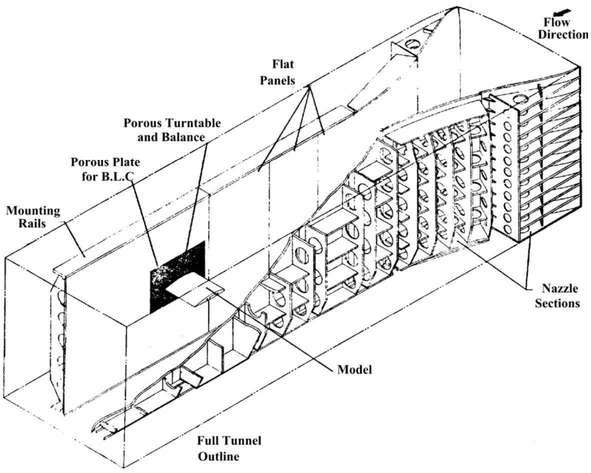


- **Тестирано је око 50 различитих модела летећих објеката**
- **Више од 80 истраживања и развојних пројеката**

Опис инсталације

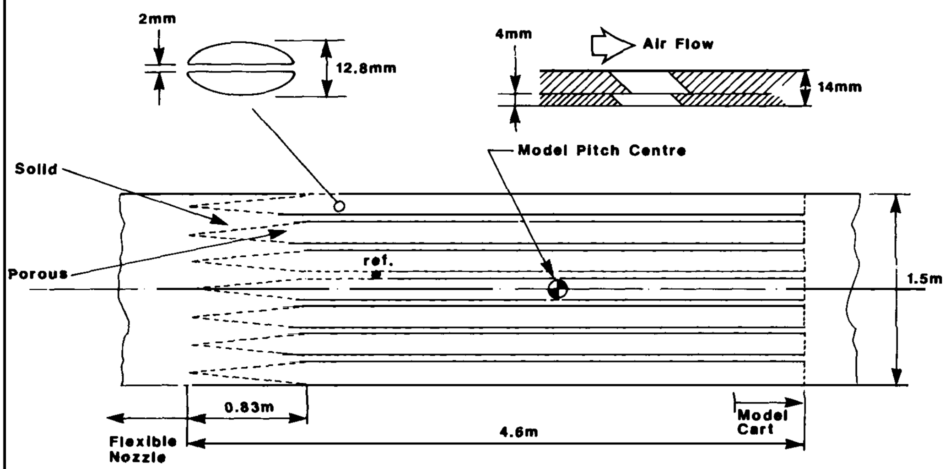
Радни део

Subsonic/transonic 2D (сегмент крила) димензија 0.38 × 1.5 m, са контролом одсисавања граничног слоја са бочних зидова.



0.38x1.5 m Дво-димензионални радни део

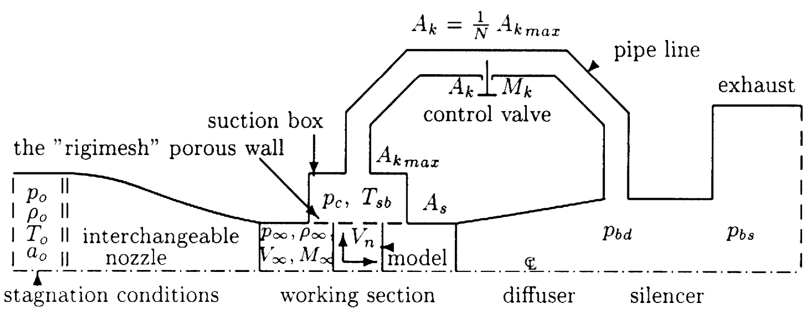
Опис инсталације



Геометрија зидова радног дела

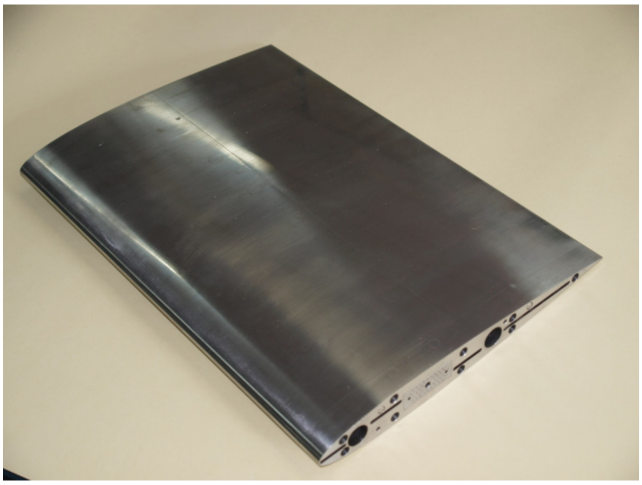
Опис инсталације

- Контрола граничног слоја са бочних зидова у близини модела обезбеђена је одсисавањем.
- Организација одсисавања је приказана на слици:



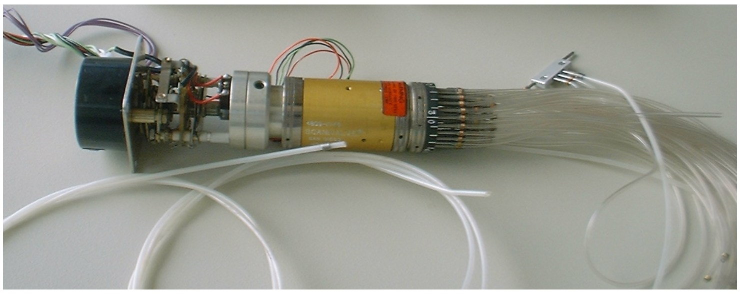
Дво-димензионални радни део

Опис модела



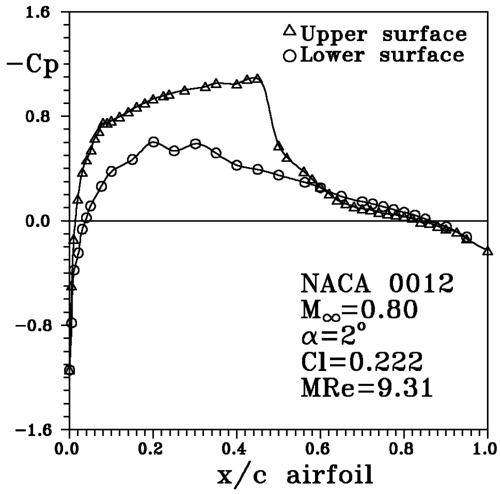
Тетива модела сегмента крила са аеропрофилом NACA 0012 је 0.254 m

Мерна опрема



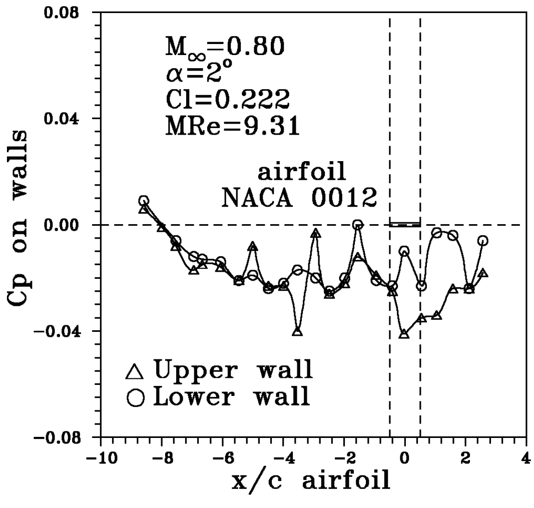
Some of the VTI-instrumentation -
Pressure scanning system: five S3 or D9
Scanivalves (230 pressure taps), expandable

Нумерички и експериментални приступ



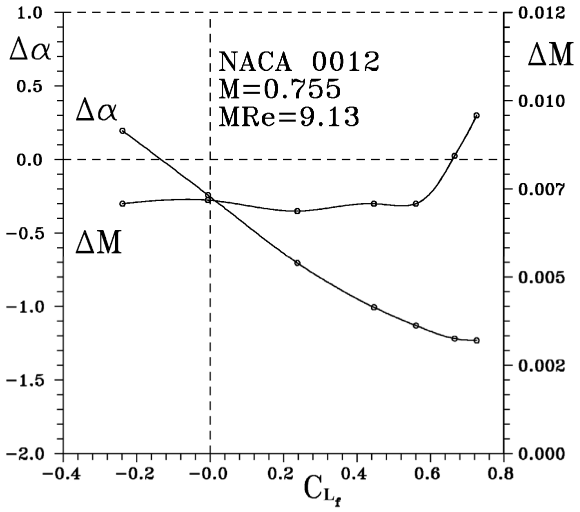
Расподела статичког притиска дуж горње и доње стране аеропрофила NACA 0012 при нападном углу од 2.0° и Mach-овом броју 0.8.

Нумерички и експериментални приступ



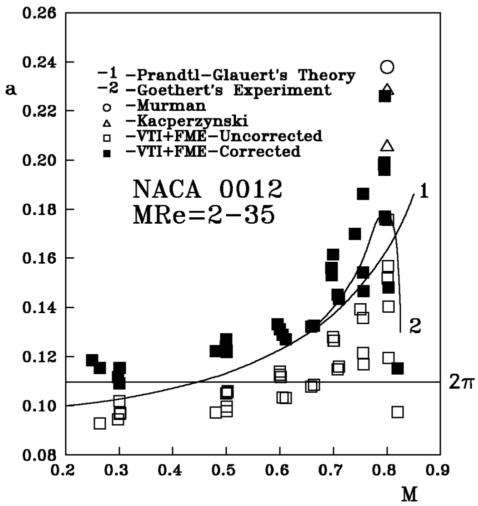
Измерена расподела коефицијената притиска по горњем и доњем зиду радног дела при нападном углу од 2.0° и Mach-овом броју 0.8.

Нумерички и експериментални приступ



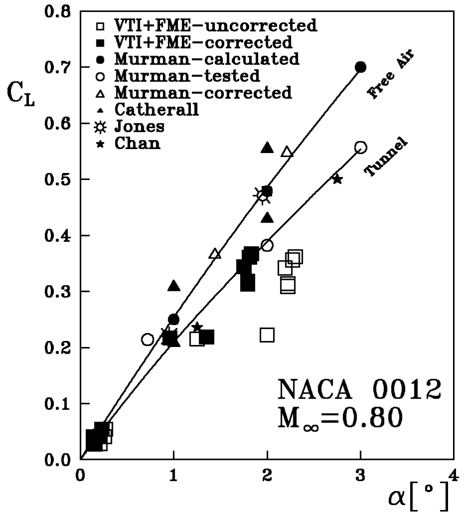
Решења за корекције Mach-овог броја и Нападног угла У функцији коефицијента узгона за слободан ваздух.

Нумерички и експериментални приступ



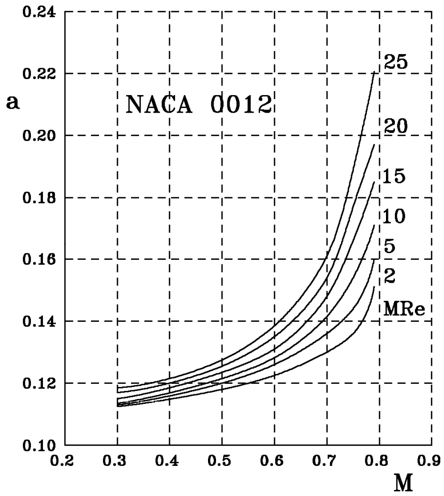
Резултати испитивања зависности градијента криве узгона у функцији Mach-овог броја

Нумерички и експериментални приступ



Резултати испитивања коефицијента узгона у функцији нападног угла.

Нумерички и експериментални приступ



Зависност градијента узгона у функцији Mach-овог броја

Статус аеротунелских испитивања

Закључак:
Аеротунели све више постају средство (оруђе) за калибрацију софтвера а све мање средство за директно пројектовање нових летелица.

Инжењерске реализације

У енергетици у пројектовању, развоју и реализацији Еолских енергетских система:
-од малих снага, од 1.5 kW (1981),
-средњих снага 100 kW (1986) до
-великих снага 0.75 MW (2003-2006) и
2 MW (2003-2012).

Такође, учествовао сам у пројектовању, развоју и реализацији већег броја лопатица расхладних кула енергетских система (1994-1996).

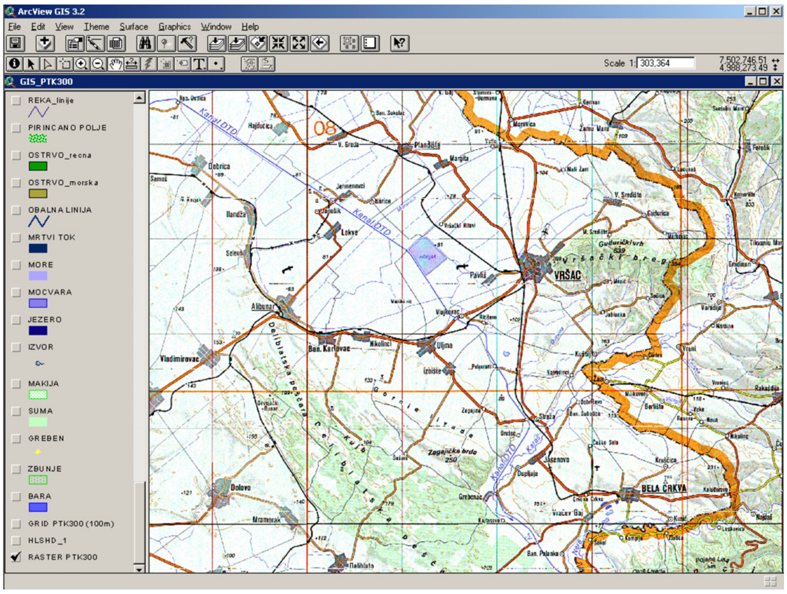
Инжењерске реализације

Најзначајнији пројекти из области енергије ветра

Пројектовање и изградња демо система за производњу електричне енергије региона

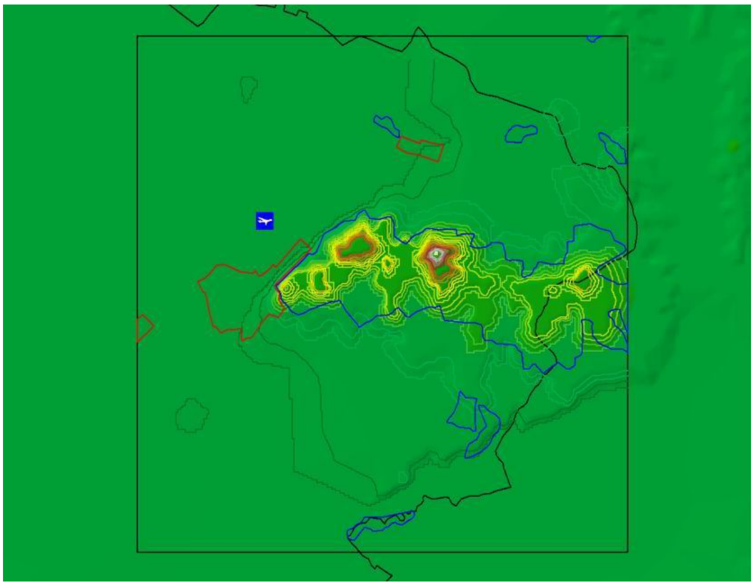
Анализа изводљивости и пројектовање демонстрационог поља фарме ветротурбина на подручју СО Вршац

Пројектовање и изградња демо система за производњу електричне енергије региона



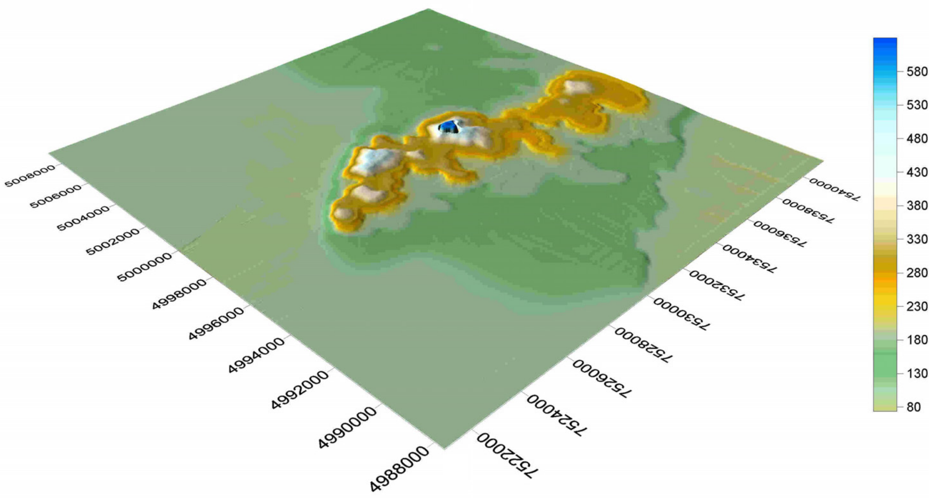
Регион Вршца у тзв. растер облику карте РТК300

Пројектовање и изградња демо система за производњу електричне енергије региона



Контуре висина, шума и насеља издвојени у клипу мезо модела региона – СО Вршац

Пројектовање и изградња демо система за производњу електричне енергије региона

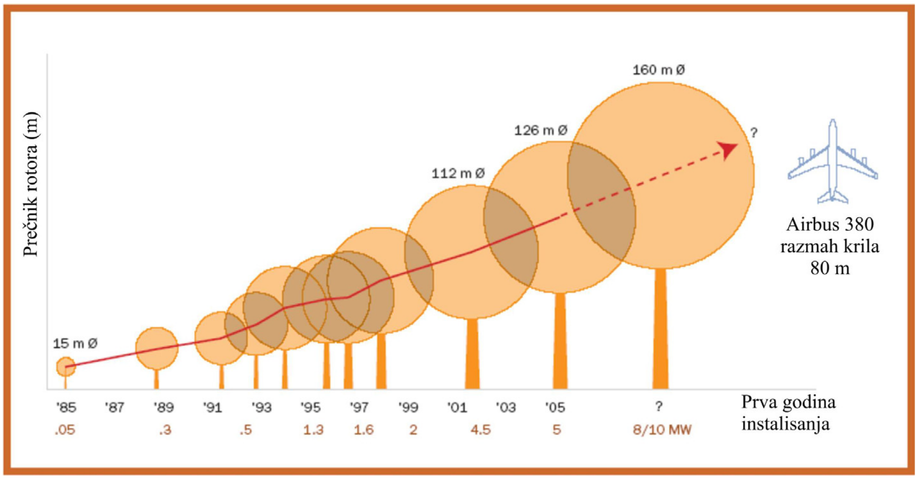


3D Surface мезо модел региона СО Вршац

Пројектовање и изградња демо система за производњу електричне енергије региона

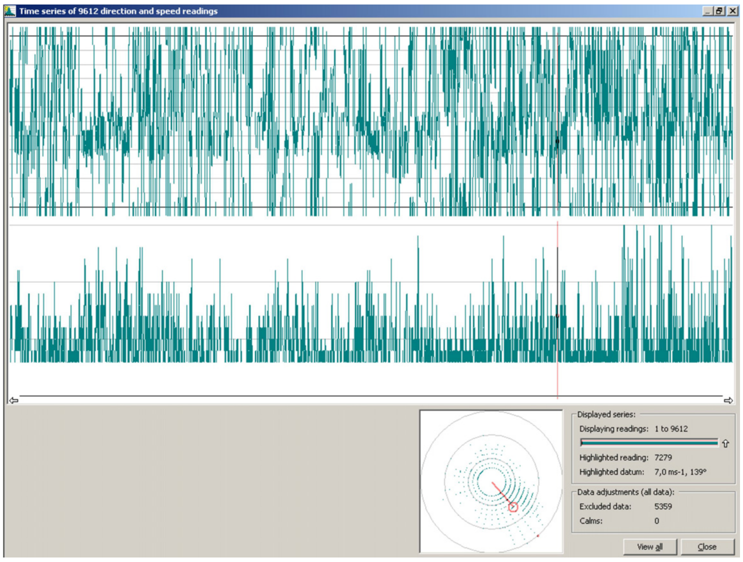
Ветротурбина типа Direct-Drive ENERCON-70

Пројектовање и изградња демо система за производњу електричне енергије региона



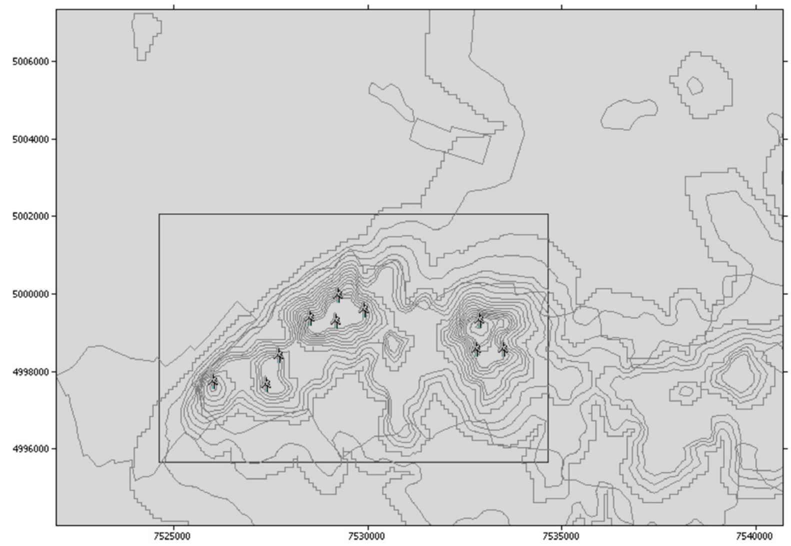
Пораст димензија и капацитета ветротурбина у функцији године њихове почетне инсталације

Пројектовање и изградња демо система за производњу електричне енергије региона



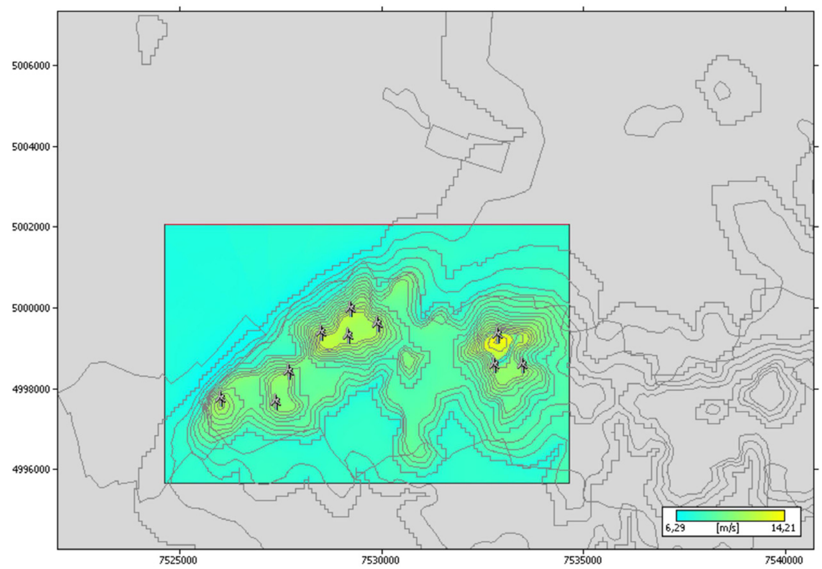
Подаци измерених величина брзине и правца ветра у периоду од 9. марта 2000. до 4. новембра 2005 у метеоролошкој станици у Вршцу

Пројектовање и изградња демо система за производњу електричне енергије региона



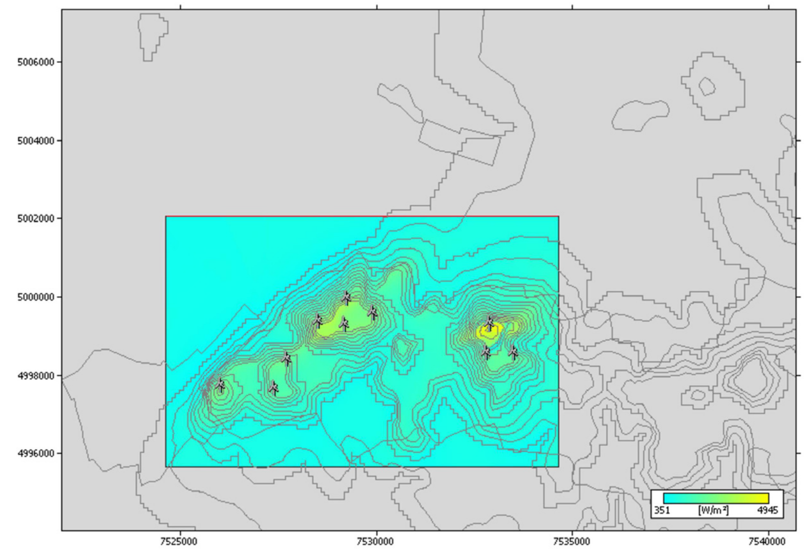
Распоред ветротурбина у фарми на локацији СО Вршац

Пројектовање и изградња демо система за производњу електричне енергије региона



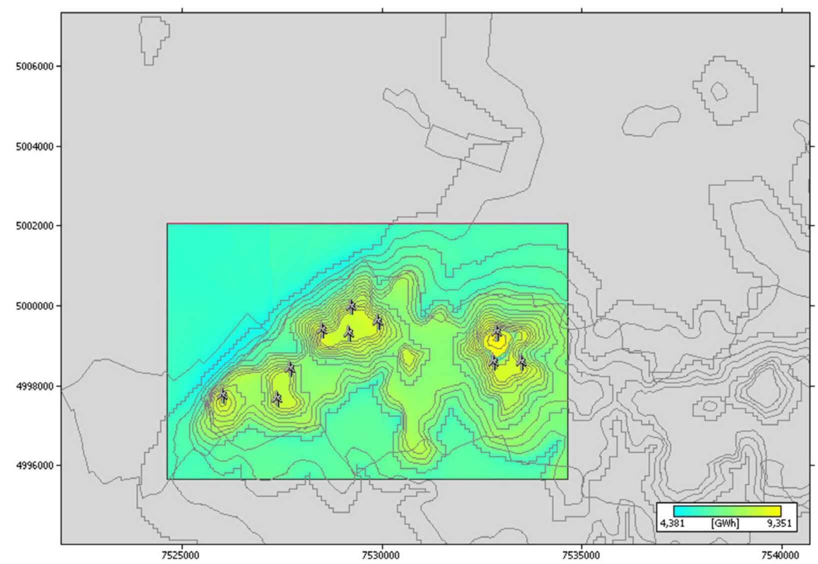
Средња годишња брзина ветра

Пројектовање и изградња демо система за производњу електричне енергије региона



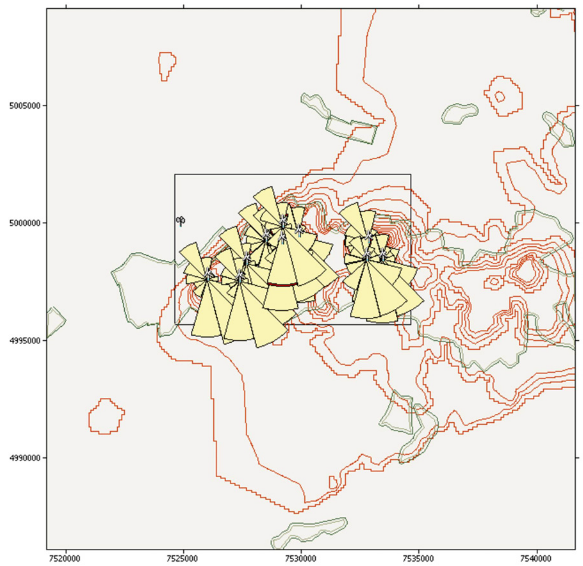
Средња годишња специфична снага ветра

Пројектовање и изградња демо система за производњу електричне енергије региона



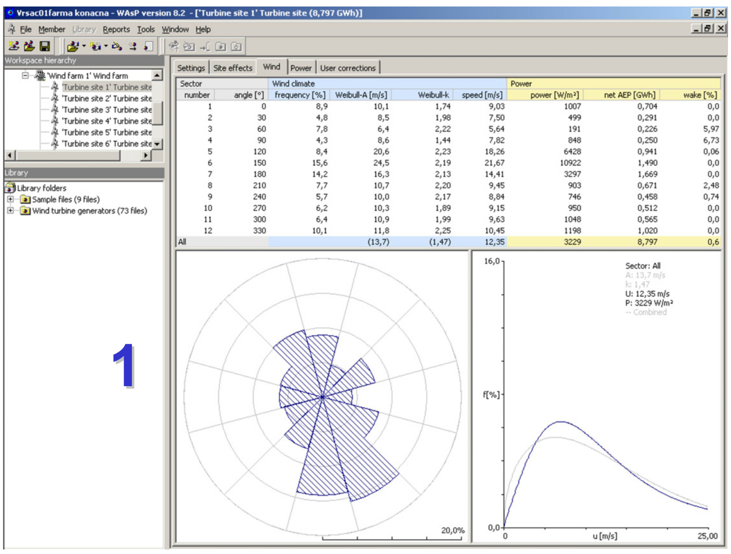
Средња годишња производња електричне енергије

Пројектовање и изградња демо система за производњу електричне енергије региона



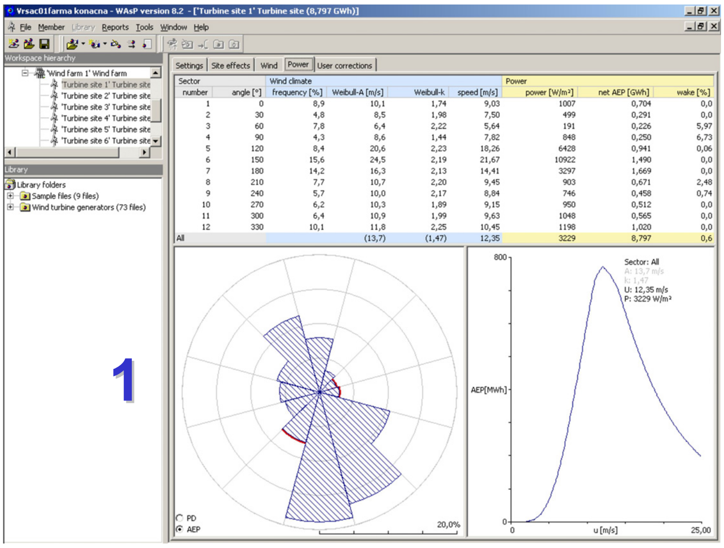
Бруто годишња производња енергије (Annual Energy Production - AEP) и губици у вртложном трагу

Пројектовање и изградња демо система за производњу електричне енергије региона



Просечна годишња брзина ветра на позицији ветротурбине 1

Пројектовање и изградња демо система за производњу електричне енергије региона



Бруто и нето годишња производња енергије и губици у вртложном трагу за ветротурбину бр. 1

Напомена: **црвено су означени губици у вртложном трагу**

Пројектовање и изградња демо система за производњу електричне енергије региона

Закључак

- **За предложену фарму која се састоји од *10* ветротурбина укупне инсталисане снаге *20 MW*, као што је показано, остварено је просечно укупно нето годишње око *85,765 GWh* енергије произведене електричне струје, што по цени од око *5* центи по *1 kWh* испоручене електричне енергије, даје зараду од око *4.3* милиона евра годишње, што даје исплативост целог инсталисаног објекта за 5 – *6* година.**

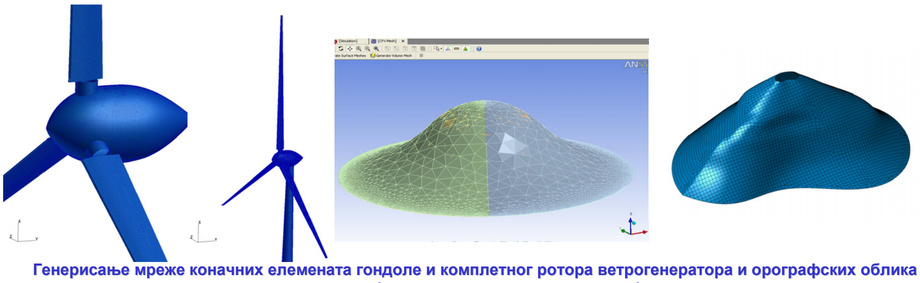
Оптимизација рада фарми ветротурбина – контрола граничног слоја и турбуленције у вртложном трагу, активна контрола облика и струјања

Оптимизација рада фарми ветротурбина – контрола граничног слоја и турбуленције у вртложном трагу, активна контрола облика и струјања

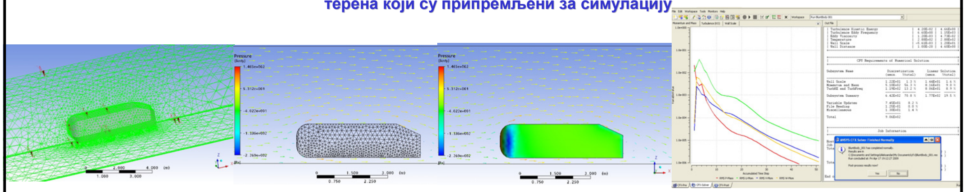
Симулација CAD модела ветротурбина и фарме у програмском пакету Catija потребних за оптимизацију

Оптимизација рада фарми ветротурбина – контрола граничног слоја и турбуленције у вртложном трагу, активна контрола облика и струјања

Припрему улазних података орографије терена и симулација струјања у комерцијалним програмским пакетима Catija, Fluent, итсл.



Генерисање мреже коначних елемената гондоле и комплетног ротора ветрогенератора и орографских облика терена који су припремљени за симулацију

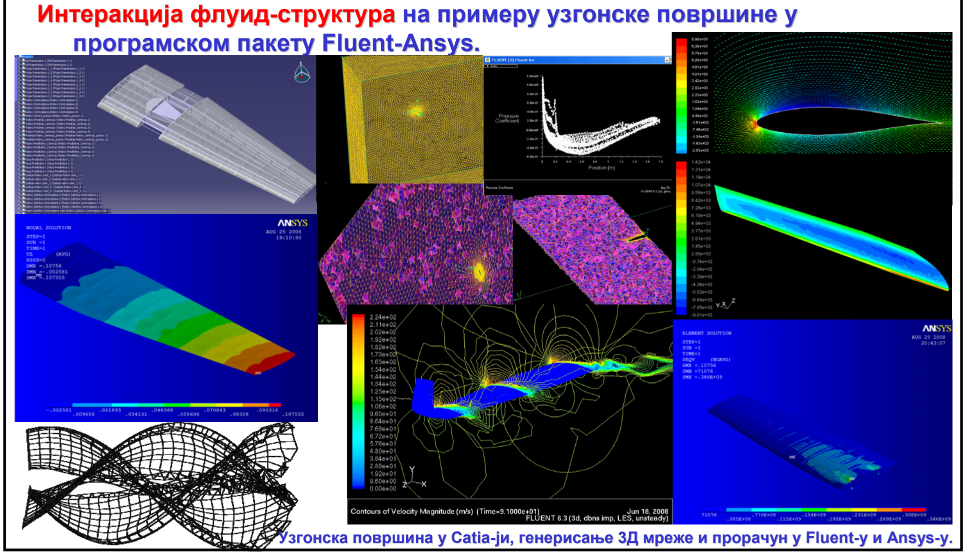


Виртуелни модел коришћен за проверу прорачунске процедуре која је спроведена у модулу Advanced CFD Ansys Workbench 11.

Оптимизација рада фарми ветротурбина – контрола граничног слоја и турбуленције у вртложном трагу, активна контрола облика и струјања

Симулација струјања у комерцијалним програмским пакетима.

Интеракција флуид-структура на примеру узгонске површине у програмском пакету Fluent-Ansys.

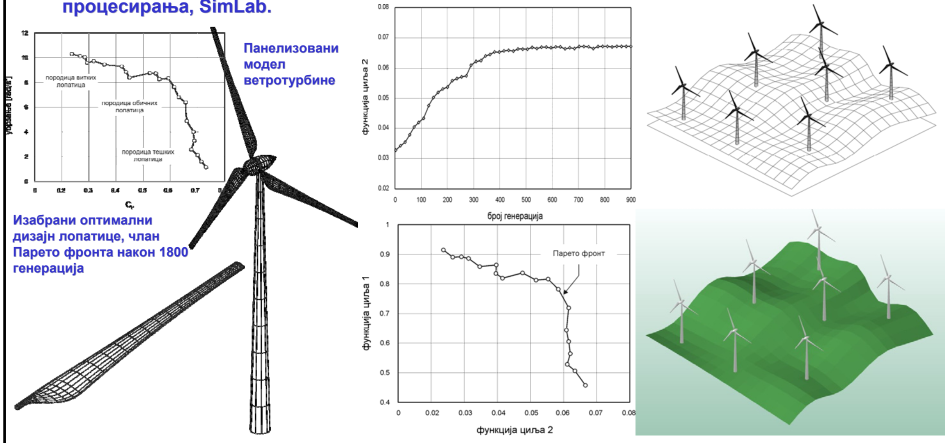


Узгонска површина у Catia-ји, генерисање 3Д мреже и прорачун у Fluent-у и Ansys-у.

Оптимизација рада фарми ветротурбина – контрола граничног слоја и турбуленције у вртложном трагу, активна контрола облика и струјања

Оптимизација рада ветротурбина у оквиру фарме за максимални енергетски учинак:

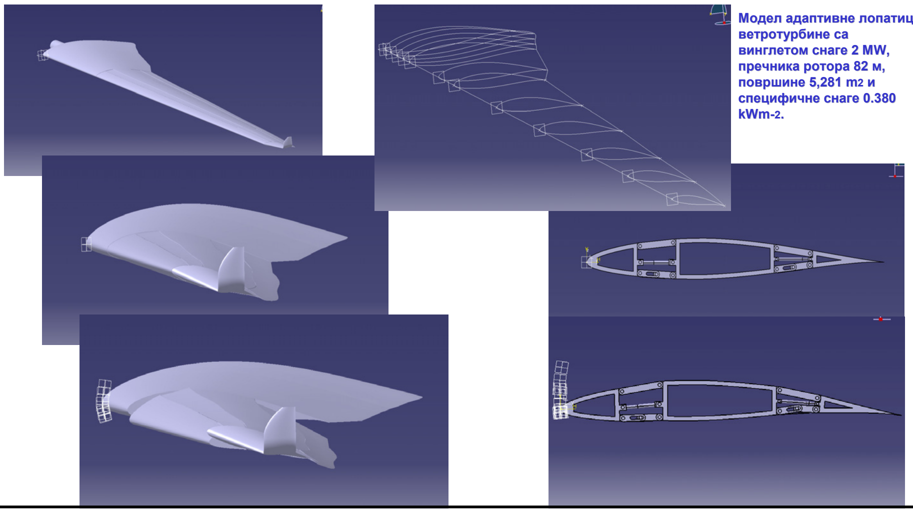
- Оптимизације еволуционарних алгоритама за решавање мулти-објектних проблема,
- Вишекритеријумска оптимизација која је заснована на генетским алгоритмима – моделирање вртложног трага и прорачун ПМ и МКЕ, и
- Вишекритеријумска оптимизација заснована на генетским алгоритмима у окружењу паралелног процесирања, SimLab.



Ток отимизационог процеса за функцију циља 2, Парето фронт за две функције циља, Оптималан распоред ветротурбина, члан Парето фронта

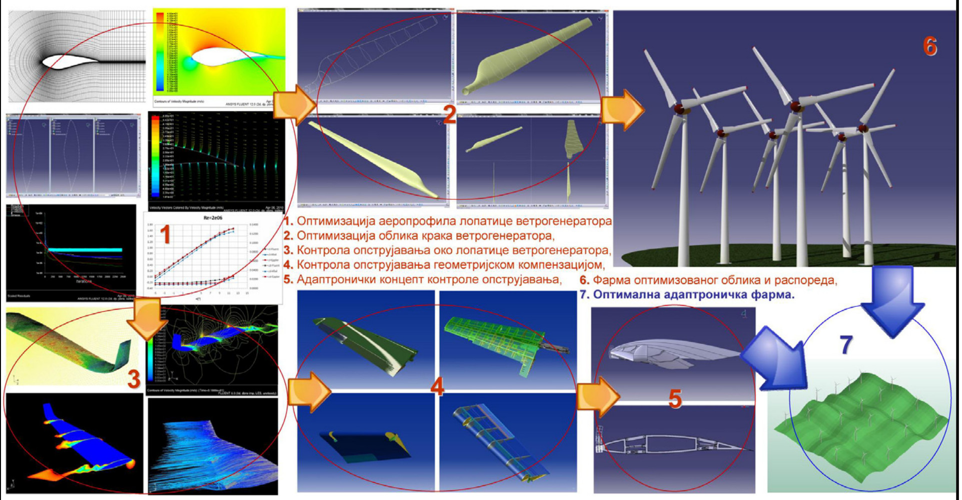
Оптимизација рада фарми ветротурбина – контрола граничног слоја и турбуленције у вртложном трагу, активна контрола облика и струјања

Савремене адаптивне структуре у функцији повећања енергетског учинка ветрогенераторских система

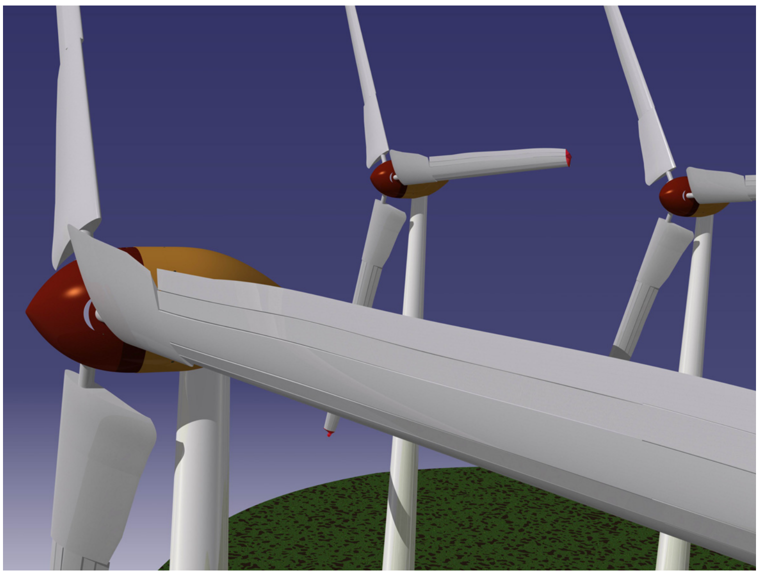


Модел адаптивне лопатице ветротурбине са винглетом снаге 2 MW, пречника ротора 82 м, површине 5,281 m^2 и специфичне снаге 0.380 kWm^{-2}.

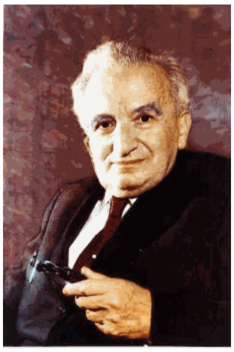
Оптимизација рада фарми ветротурбина – контрола граничног слоја и турбуленције у вртложном трагу, активна контрола облика и струјања



Оптимизација рада фарми ветротурбина – контрола граничног слоја и турбуленције у вртложном трагу, активна контрола облика и струјања



"Научник објашњава оно што већ постоји инжењер ствара, оно што жели да буде"



Theodore von Kármán
(May 11, 1881 – May 7, 1963)

"The scientist explains what already exists the engineer creates, what he wants to be"

Theodore von Kármán

Dr Aleksandar Sedmak[1], red. prof.
Dr. Marko Rakin[2], vanr. prof.

Mikromehanička analiza žilavog loma zavarenih spojeva čelika

[1] Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet
[2] Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

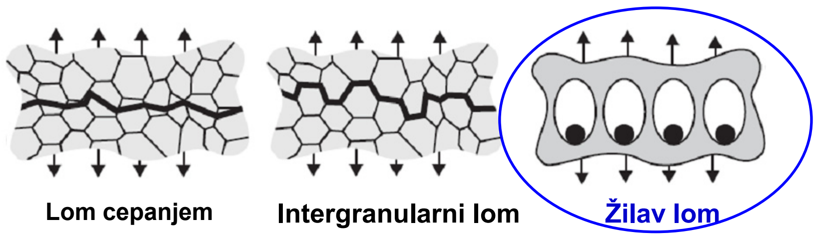
Mehanizmi loma metalima izloženim dejstvu statičkog opt.

Realni materijali često u početnom (neopterećenom) stanju sadrže mnoštvo grešaka, kao što su mikroprsline ili šupljine.

Tokom procesa deformisanja, ove unutrašnje greške mogu rasti i spajati se, što je praćeno daljim razaranjem materijala nastankom novih mikrooštećenja na mestima koncentracije napona (npr. oko uključaka, na granicama zrna ili oko različitih nehomogenosti).

Ovaj proces strukturnog slabljenja materijala, izazvan nastankom, rastom i spajanjem mikroprslina i šupljina, se naziva ***oštećenje***.

U završnoj fazi dolazi do potpunog gubitka integriteta i nastanka makroskopske prsline.



2

Mehanika loma

Mehanika loma → Naučna disciplina koja se bavi **prslinama** i **njihovim uticajem** na ponašanje materijala i struktura.

⇩

Početak 20. veka (Inglis, Griffith).
Pedesete godine prošlog veka (Irwin) – **Linearno elastična mehanika loma**

Proširanje na elasto-plastično ponašanje materijala

⇨ **plastična zona** ispred vrha prsline

Praktična primena mehanike loma –
dvostrano tumačenje njenih parametara; oni predstavljaju:

1. **opterećenje i geometriju konstrukcije**, uključujući **geometriju prsline**
2. **svojstvo materijala, odnosno njegovu otpornost prema rastu prsline**

3

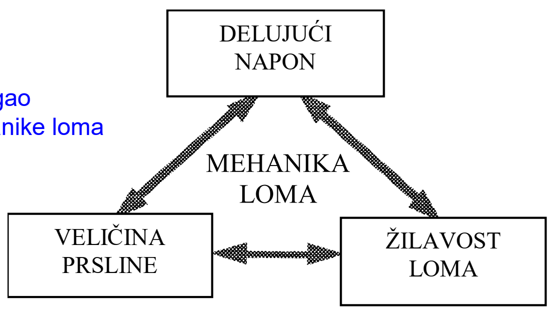
Osnovna uloga mehanike loma:

da matematički poveže tri promenljive veličine:

napon, veličina greške i žilavost loma,

čime je omogućeno da se *na osnovu dve poznate veličine izračuna treća.*

Trougao
mehanike loma



CILJ: ***umesto da se bavi samo analizom loma, mehanika loma je vremenom postala značajno oruđe u rukama inženjera čiji je zadatak da lom spreče.***

4

Linearno-elastična mehanika loma (LEML)

Primena LEML se zasniva na faktoru intenziteta napona, K_I, *koji sa jedne strane predstavlja opterećenje i geometriju konstrukcije, uključujući oblik i veličinu prsline*, a sa druge strane, njegova kritična vrednost, *žilavost loma pri ravnoj deformaciji, K_{Ic}, predstavlja svojstvo materijala*

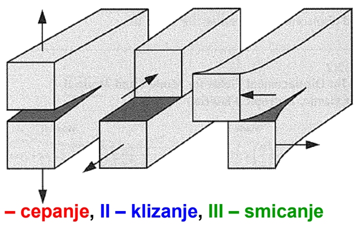
$K_I \leq K_{Ic}$ - integritet konstrukcije nije ugrožen,
$K_I > K_{Ic}$ - integritet konstrukcije je ugrožen jer je moguć krti lom.

Tri osnovna oblika razvoja prslina: I – cepanje, II – klizanje, III – smicanje
Najopasniji oblik: I - cepanje

K_I - izračunava se
- analitički
- numerički

$$K_I = Y\sigma\sqrt{\pi a}$$

Y – geometrijski faktor
σ – nominalni (udaljeni) napon
a – dužina prsline



I – cepanje, II – klizanje, III – smicanje

K_{Ic} – osobina materijala

Izvor: C.H. Wang, *Introduction to Fracture Mechanics.* DSTO Aeronautical and Maritime Research Laboratory (1996)

Materijal	K_{Ic} [MPa·m$^{1/2}$]
Ugljenični čelik	≈ 50
Čelik za PPP	≈ 200
Čelik povišene čvrstoće	≈ 100
Al 2024 T8	≈ 30
Al 7075 T6	≈ 40
Ti-6Al-4V	≈ 70

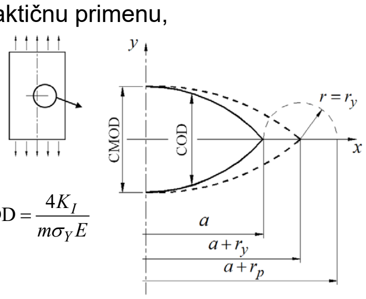
K_I – odgovara obliku I, K_{II} i K_{III} za oblike II i III

Elasto-plastična mehanika loma (EPML)

Uzimanje u obzir plastičnog ponašanja materijala:
Otvaranje vrha prsline (CTOD)
Ugao otvaranja prsline (CTOA)
***J* integral**

CTOD, iako bez "čvrste" fizičke osnove, se često koristi u praksi (jedan od načina merenja: δ_5 koncept – v. sliku)

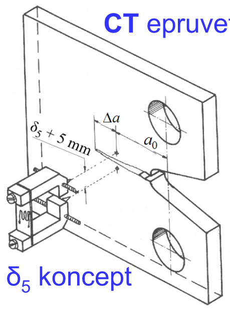
Sa druge strane, **J integral** zahteva složeniji postupak određivanja, ali kao energetski parametar zasnovan na zakonima mehanike kontinuuma je jednako važan za praktičnu primenu,



$$\delta(r = r_y) = \mathrm{CTOD} = \frac{4K_I}{m\sigma_Y E}$$

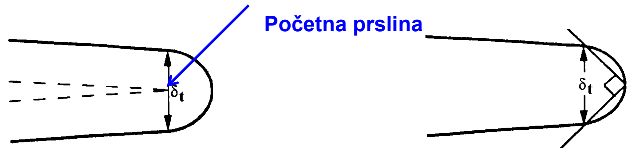
Otvaranje prsline (COD)

CT epruveta

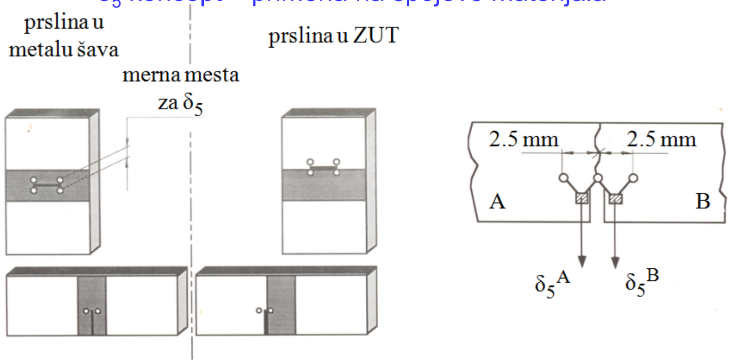


δ_5 koncept

Dve definicije CTOD



δ_5 koncept – primena na spojeve materijala

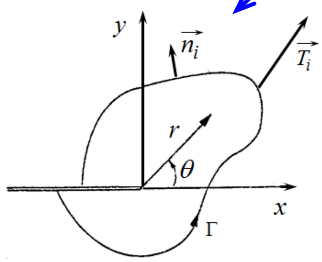


7

J integral

Integral nezavisan od putanje integracije, *J integral* - Cherepanov i Rice.

U odnosu na proizvoljno izabranu putanju (konturu) oko vrha prsline Γ, *J* integral je definisan:



Putanja integracije za J integral

$$\boxed{J = \int_{\Gamma} \left(W dy - T_i \frac{\partial u_i}{\partial x} ds \right)}$$

W - gustina energije deformacije,
ds - element dužine putanje,
$T_i = \sigma_{ij} n_j$ - napon zatezanja na konturi,
u_i - pomeranje,
n_i - jedinična normala na konturu.

Ovakva definicija *J* integrala omogućuje njegovo određivanje kako po putanjama u okolini vrha prsline, tako i po putanjama udaljenim od tog mesta.

Pri tome treba imati na umu da *nezavisnost od putanje* podrazumeva odsustvo procesa koji zavise od vremena, kao i zapreminskih i inercijalnih sila.

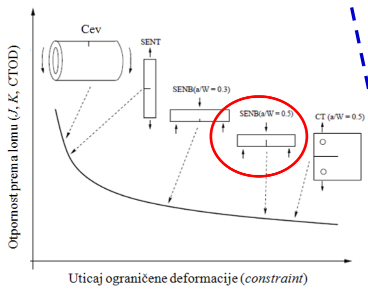
8

Constraint i *Mismatch*

Nedostatak standardnih postupaka mehanike loma (klasičnog ili globalnog pristupa):

Parametrima mehanike loma (*K*, *J* integral, CTOD...) se ne može uvek na odgovarajući način predvideti razvoj oštećenja u materijalu

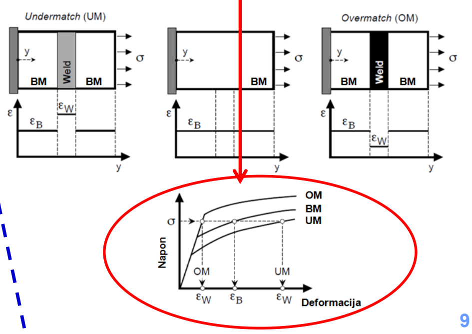
Primeri: zavisnost od nivoa ograničenog deformisanja ispred vrha prsline i heterogenosti materijala. Stoga, nije uvek moguće obezbediti ***prenosivost*** parametara



Constraint – ograničeno deformisanje ispred vrha prsline

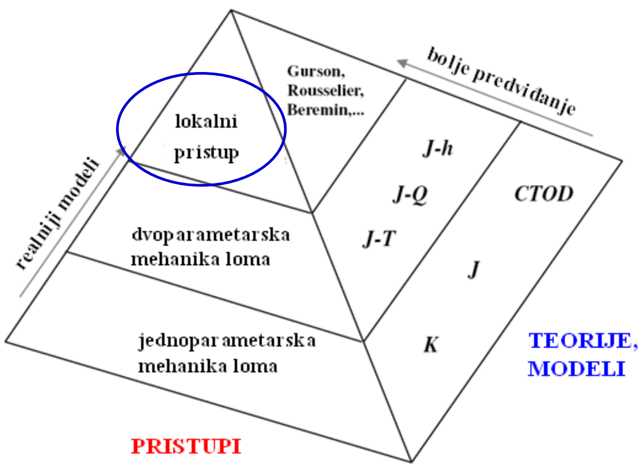
Mismatch – heterogenost materijala

$$M = \frac{\sigma_{Y(WM)}}{\sigma_{Y(BM)}}$$



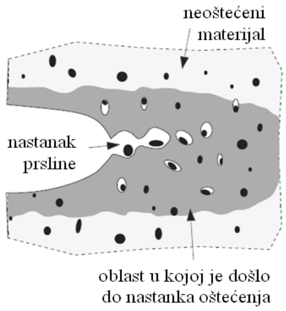
9

Pristupi – predviđanje nivoa ograničenog deformisanja

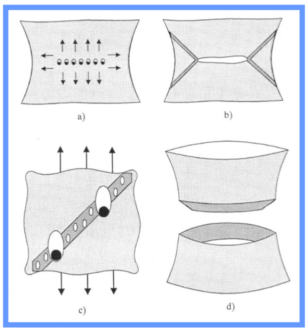


10

Lokalni pristup žilavom lomu



Ponašanje materijala:
- Deformaciono ***ojačavanje***
- “***Slabljenje***” usled šupljina → oštećenje i lom



Modeli nespregnutog pristupa (Rice-Tracey, Huang)

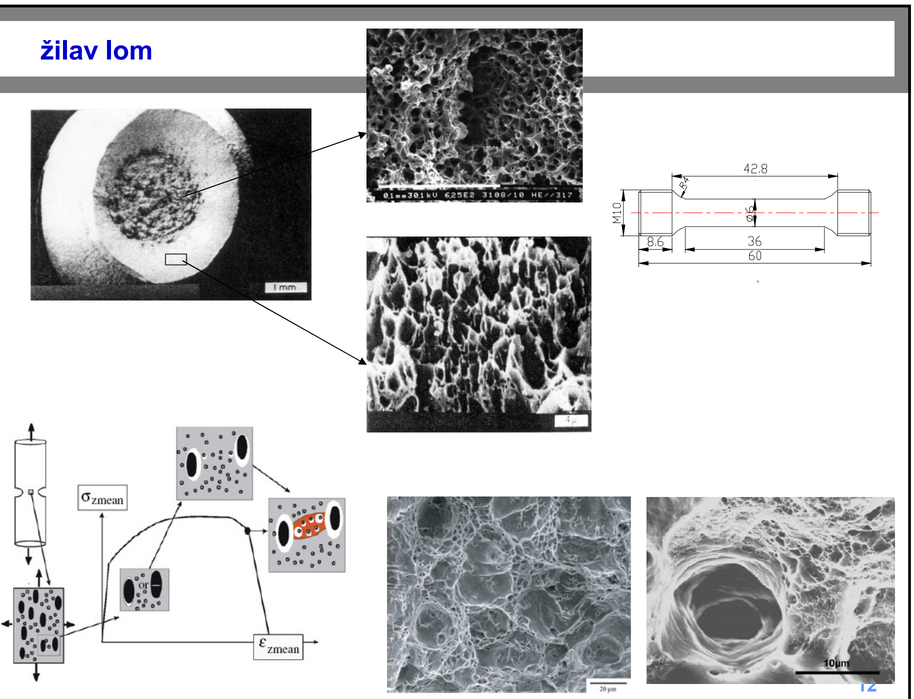
- von Misesov krit. tečenja
- Izračunavanje parametara oštećenja u post-procesorskoj proceduri

Modeli spregnutog pristupa (GTN, CGM, Rousselier)

- Gursonov kriterijum tečenja, . .
- Izračunavanje parametara oštećenja tokom analize MKE

11

žilav lom



Modifikovani Gursonov kriterijum tečenja

GTN - Gurson - Tvergaard - Needleman
CGM - complete Gurson model

$$\phi = \underbrace{\frac{3S_{ij}S_{ij}}{2\sigma^2}}_{\text{Deformaciono ojačavanje}} \underbrace{+ 2q_1 f^* \cosh\left(\frac{3q_2\sigma_m}{2\sigma}\right) - \left[1 + \left(q_1 f^*\right)^2\right]}_{\text{“Slabljenje” usled postojanja šupljina}} = 0$$

Deformaciono ojačavanje **“Slabljenje” usled postojanja šupljina**

σ Trenutni napon tečenja

q_1, q_2 Konstitutivni parametri

f^* Funkcija oštećenja

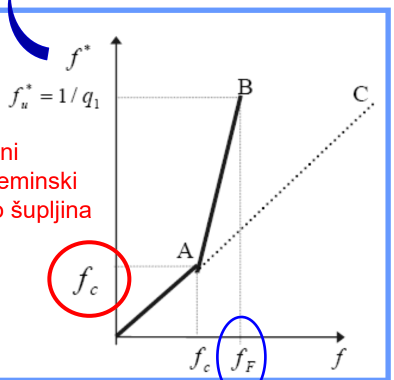
$$\dot{f} = \dot{f}_{nucleation} + \dot{f}_{growth} \longrightarrow \begin{aligned} \dot{f}_{nucleation} &= A_N \dot{\varepsilon}^p_{eq} \\ \dot{f}_{growth} &= (1-f)\dot{\varepsilon}^p_{ii} \end{aligned}$$

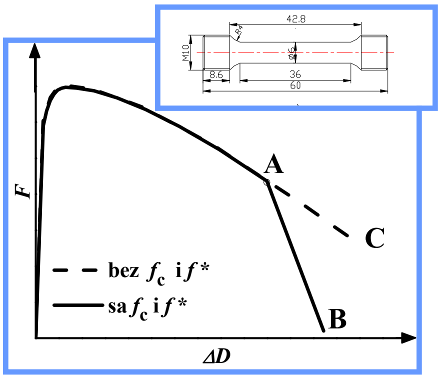
Funkcija oštećenja

Zapreminski udeo šupljina - poroznost

$$f^* = \begin{cases} f & \text{for } f \le f_c \\ f_c + K\left(f - f_c\right) & \text{for } f > f_c \end{cases} \quad !! \quad K = \frac{f_u^* - f_c}{f_F - f_c}$$

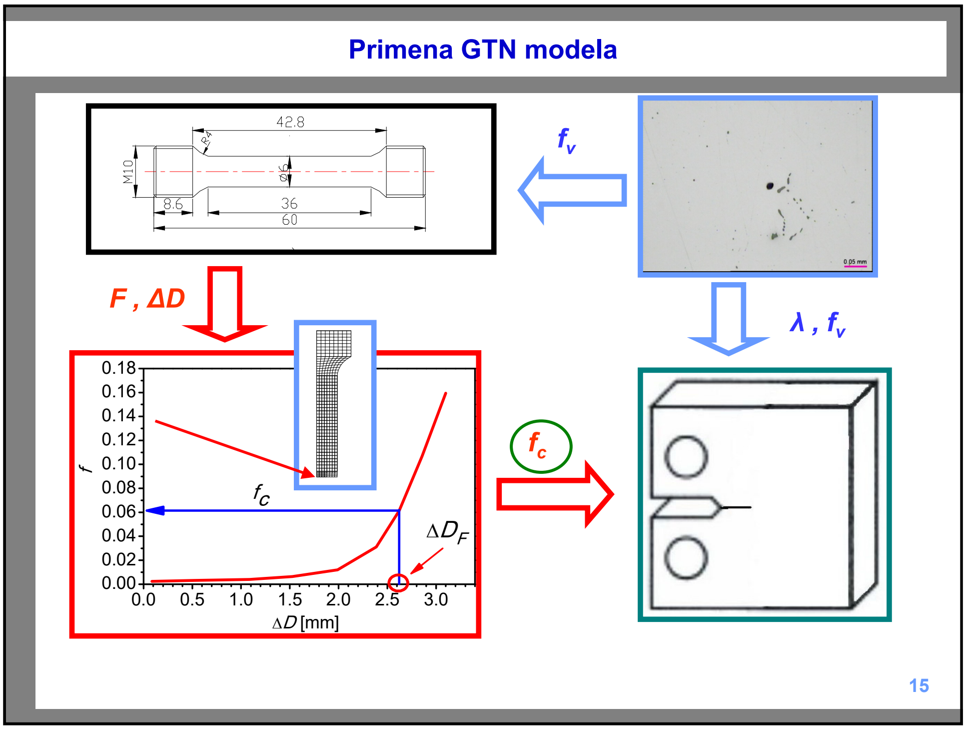
Kritični
Zapreminski
Udeo šupljina

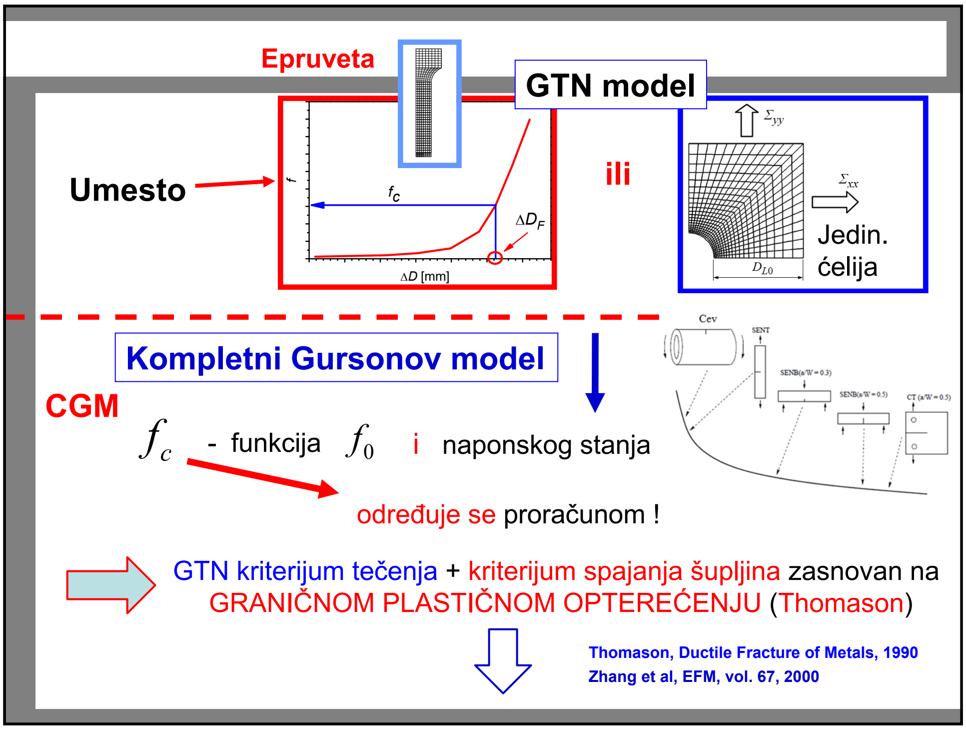




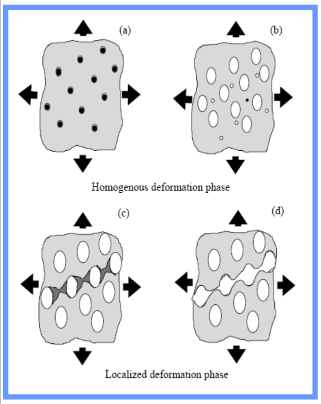
f_F Zapr. udeo šupljina pri lomu

14


Primena GTN modela
42.8
R4
M10
Ø6
8.6
36
60
f_v
F , ΔD
λ , f_v
0.18
0.16
0.14
0.12
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0.00
f
f_C
ΔD_F
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
ΔD [mm]
f_c
0.05 mm
15


Epruveta
GTN model
Umesto
f
f_C
ΔD_F
ΔD [mm]
ili
Σ_{yy}
Σ_{xx}
D_{L0}
Jedin.
ćelija
Kompletni Gursonov model
CGM
f_c - funkcija f_0 i naponskog stanja
određuje se proračunom !
Cev
SENT
GTN kriterijum tečenja + kriterijum spajanja šupljina zasnovan na
GRANIČNOM PLASTIČNOM OPTEREĆENJU (Thomason)
Thomason, Ductile Fracture of Metals, 1990
Zhang et al, EFM, vol. 67, 2000

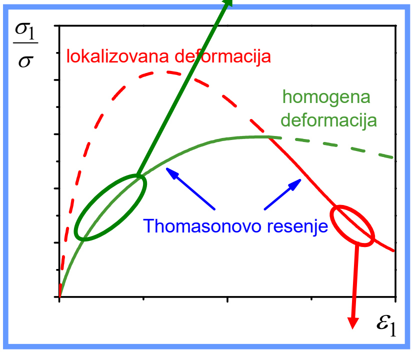
Granično plastično opterećenje (Thomason)



Homogeno stanje deformacije tokom nastanka i spajanja šupljina

Lokalizovano stanje deformacije tokom spajanja šupljina

Rana faza deformisanja – Homogena deformacija



Thomason, Ductile Fracture of Metals, 1990

Rast plast. def. - lokalizacija

17

Kompletni Gursonov model - CGM

Početak spajanja šupljina: $$\frac{\sigma_1}{\sigma} = \left(\alpha\left(\frac{1}{r} - 1\right) + \frac{\beta}{\sqrt{r}}\right)\left(1 - \pi r^2\right)$$

σ_1 Najveći glavni napon

r Odnos poluprečnika šupljine i rastojanja između dve susedne šupljine

$\varepsilon_{1,2,3}$ Glavne deformacije

$$r = \frac{\sqrt[3]{\frac{3f}{4\pi} e^{\varepsilon_1+\varepsilon_2+\varepsilon_3}}}{\left(\frac{\sqrt{e^{\varepsilon_2+\varepsilon_3}}}{2}\right)}$$

$$\alpha = 0.12 + 1.68\,n \qquad \beta = 1.2$$

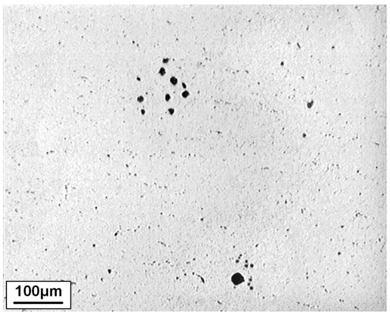
f_c - nije parametar materijala u CGM, nego odgovor materijala

Zhang et al, EFM, vol. 67, 2000

18

Nastanak šupljina

Za čelike
Primarne šupljine: oko nemetalnih uključaka
Sekundarne šupljine: oko čestica cementita



f_0 – Početni zapr. udeo šupljina
Zavisi od zapreminskog udela nemetalnih uključaka (f_v)

Određivanje f_v - na osnovu hemijskog sastava materijala.

Franklin je predložio sledeći izraz za čelike (uzimaju se u obzir uključci MnS i Al_2O_3):

$$f_v = 0.054\left[\%S - \frac{0.001}{\%Mn}\right] + 0.005\%O_2$$

Problemi: - teško određivanje udela kiseonika u čeliku.
- šupljine mogu nastati i oko uključaka ili čestica koje nisu uključene u izraz.

19

Kvantitativna mikrostrukturna analiza

- Merna polja na pripremljenim površinama uzoraka
- Planimetrijska procedura
- Poluautomatska analiza slike

CILJ merenja: Određivanje
Zapreminskog udela nemetalnih uključaka f_v i
Srednjeg slobodnog puta između njih λ

Zapreminski udeo nemetalnih uključaka je određen na osnovu jednakosti sa površinskim udelom [ASTM E1245]:

$$V_V = A_A = \frac{A_i}{A_T}$$

gde su V_V i A_A zapreminski, odnosno površinski udeo uočenih uključaka, A_i je površina uočenih uključaka, a A_T je površina mernog polja.

f_v se određuje kao srednja vrednost površinskog udela nemetalnih uključaka za sva merna polja na svim mernim mestima:

$$\bar{f}_v = \bar{V}_V = \frac{\Sigma V_{Vi}}{n}$$

gde je n broj mernih polja.

20

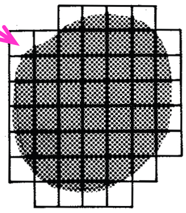
Kvantitativna mikrostrukturna analiza

Konačni zapreminski udeo uključaka f_v se određuje kao:

$$\boxed{f_v = \frac{\sum_{j=1}^{k} \overline{f}_{vj}}{k}}$$

gde je ***k*** broj mernih mesta

Merna polja na jednom od mernih mesta

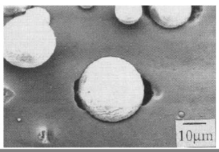


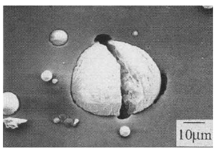
Srednji slobodni put između uključaka λ

Da bi se odredio srednji slobodni put između uključaka [ASTM E1245], koristi se linearna metoda. Određuje se vrednost N_L - broj preseka uključaka sa mernim linijama po jedinici dužine merne linije (u mm)

$$N_L = \frac{N_i}{L_T}$$

gde je N_i broj preseka uključaka, a L_T stvarna dužina merne linije.





Al 6061 legura, ojačana česticama Al_2O_3:
- odvajanje čestice od matrice;
- lom čestice

21

Kvantitativna mikrostrukturna analiza

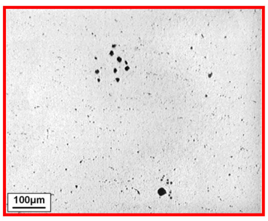
Srednji slobodni put λ, kao srednje rastojanje od ivice do ivice uključaka, je određen na sledeći način:

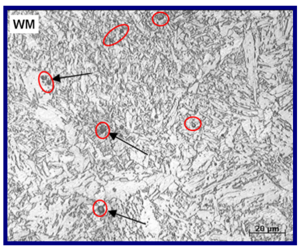
$$\lambda = \frac{1 - A_A}{N_L}$$

Konačna vrednost srednjeg slobodnog puta, na svim mernim mestima

$$\boxed{\lambda = \frac{\sum_{j=1}^{k} \overline{\lambda}_j}{k}}$$

gde je *k* broj mernih mesta

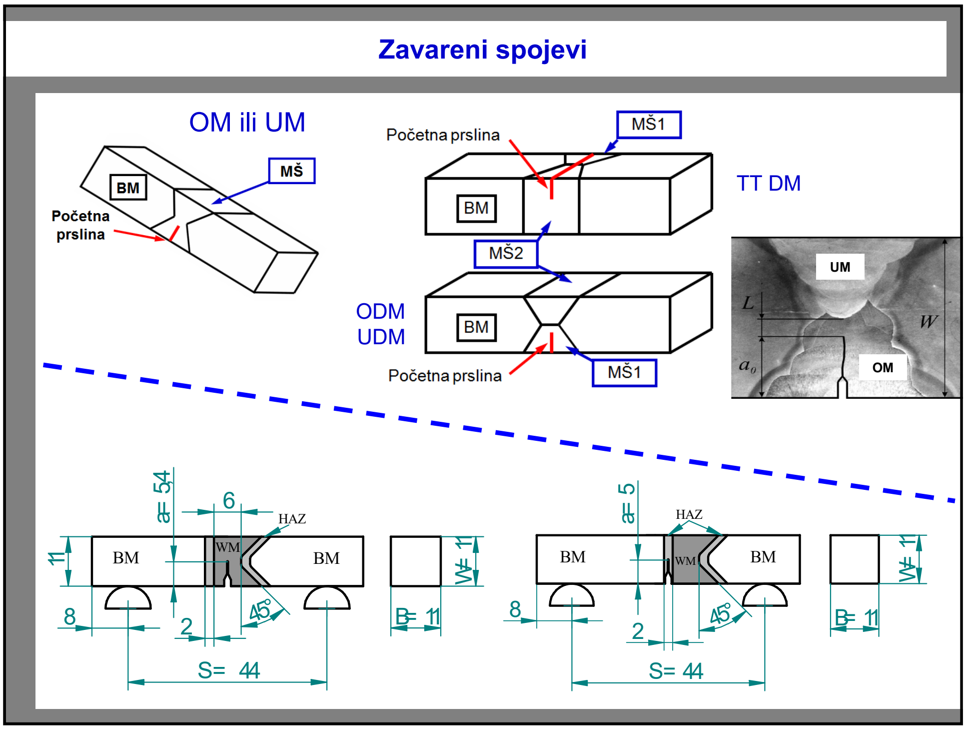


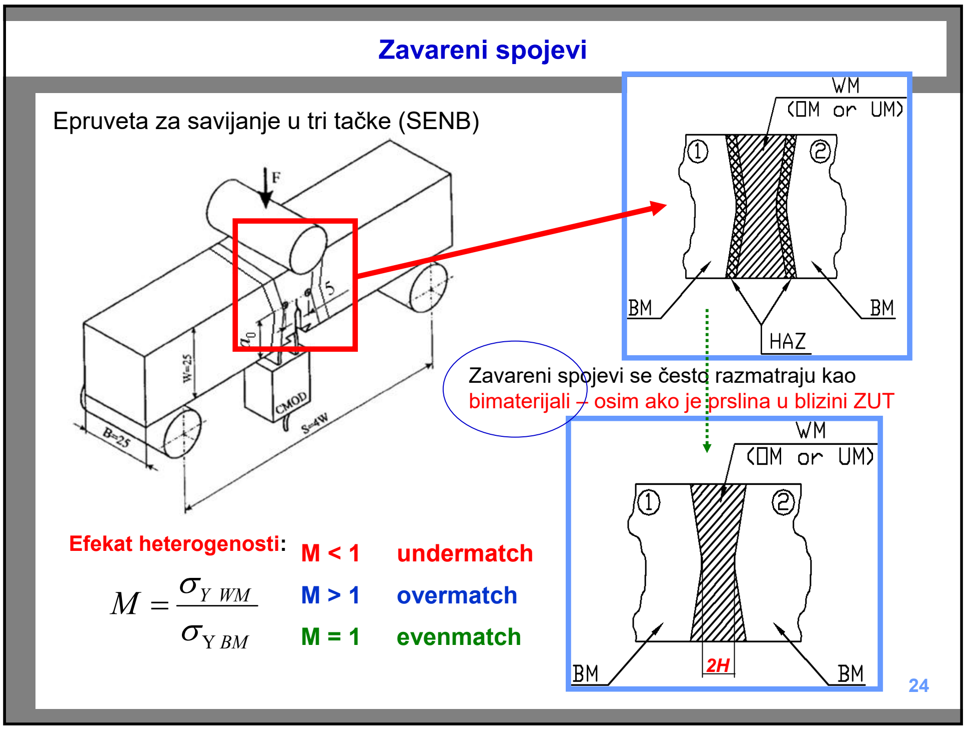


NAPOMENA: konačne vrednosti zapreminskog udela uključaka i srednjeg slobodnog puta između njih se dobijaju kao SREDNJE vrednosti na svim mernim mestima.

Svako merno mesto je određeno distribucijom obe veličine, predstavljenom npr. histogramima

22

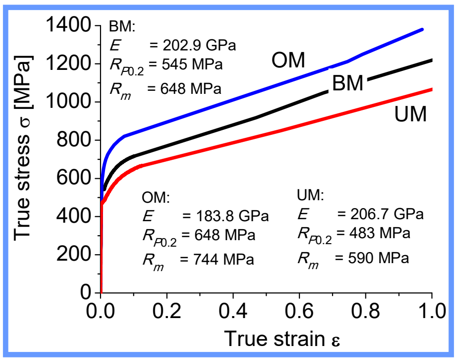

Zavareni spojevi
OM ili UM
BM
MŠ
Početna prslina
Početna prslina
MŠ1
BM
TT DM
MŠ2
ODM
UDM
BM
Početna prslina
MŠ1
UM
OM
L
W
a_0
HAZ
WM
BM
BM
6
11
8
2
45°
S= 44
B= 11
W= 11
HAZ
WM
BM
BM
8
2
45°
S= 44
B= 11
W= 11


Zavareni spojevi
Epruveta za savijanje u tri tačke (SENB)
F
W=25
B=25
S=4W
CMOD
WM
(OM or UM)
BM
BM
HAZ
Zavareni spojevi se često razmatraju kao
bimaterijali – osim ako je prslina u blizini ZUT
WM
(OM or UM)
BM
BM
2H
Efekat heterogenosti:
$M = \dfrac{\sigma_{Y\ WM}}{\sigma_{Y\ BM}}$
M < 1 undermatch
M > 1 overmatch
M = 1 evenmatch
24

Zavareni spojevi

Hemijski sastav

Materijal	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
BM	0.123	0.33	0.56	0.003	0.002	0.57	0.34	0.13
Dodatni mat. - OM	0.04	0.16	0.95	0.011	0.021	0.49	0.42	2.06
Dodatni mat. - UM	0.096	0.58	1.24	0.013	0.16	0.07	0.02	0.03



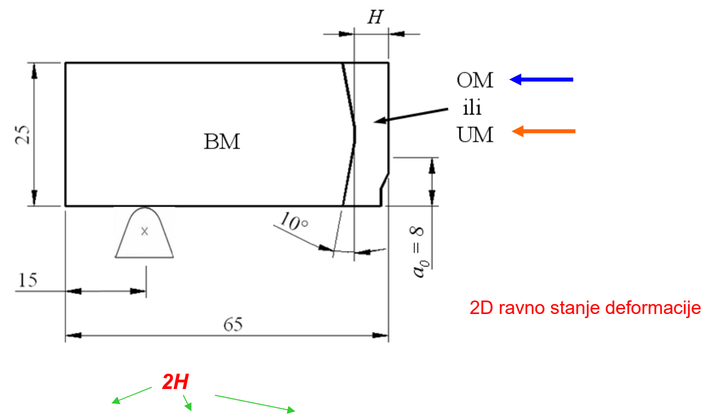
Mikrostrukturni parametri

Material	f_V	λ [μm]
BM	0.012164	103.1336
UM	0.007057	126.2614
OM	0.006342	157.4719

Krive stvarni napon – stvarna deformacija

25

Dimenzije SENB epruveta – OM i UM



	OM6	OM6	OM12	OM18	UM6	UM12	UM18
a_0	7.694	10.334	7.826	9.414	7.544	7.87	7.735
a_0/W	0.307	0.413	0.313	0.376	0.3017	0.3148	0.3094

Dužina početne prsline a_0 u OM i UM zavarenim spojevima različite širine

26

Numerički proračun

Korišćen je programski paket **Abaqus**

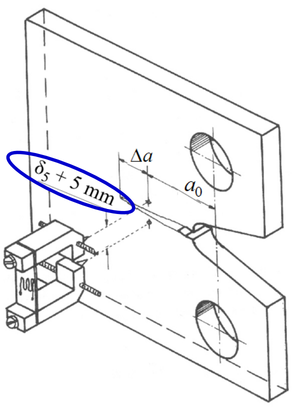
Pre-procesiranje ⇨ **Analiza** ⇨ **Post-procesiranje**

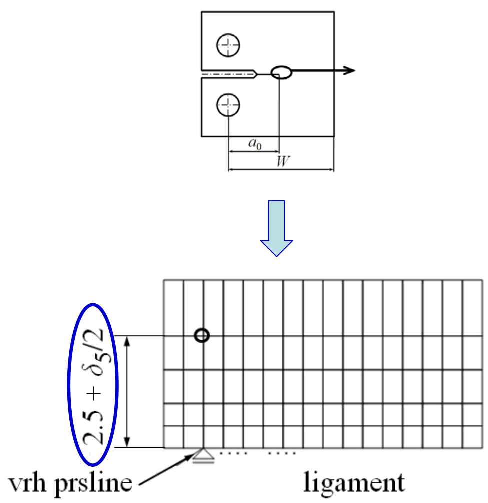
- Geometrija (2D RSD ili 3D, simetrija, u zavisnosti od konfiguracije spoja i položaja prsline)
- Mreža (profinjena u blizini fronta prsline i u ligamentu, bez singularnih elemenata – modeliranje rasta prsline)
- Materijal UMAT (user material subroutine), Z.L. Zhang

  Krive stvarni napon – stvarna deformacija
- Opterećenje (kontakt sa krutim telima)
- Izlazne veličine (stanje napona / deformacije, parametar oštećenja – poroznost, itd.)

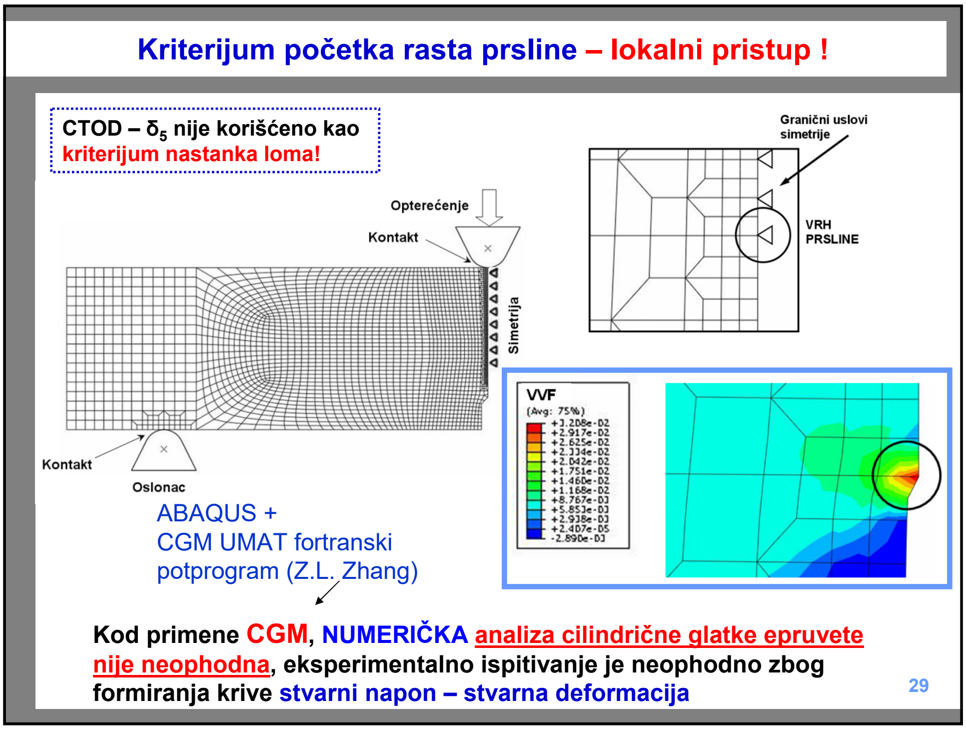
27

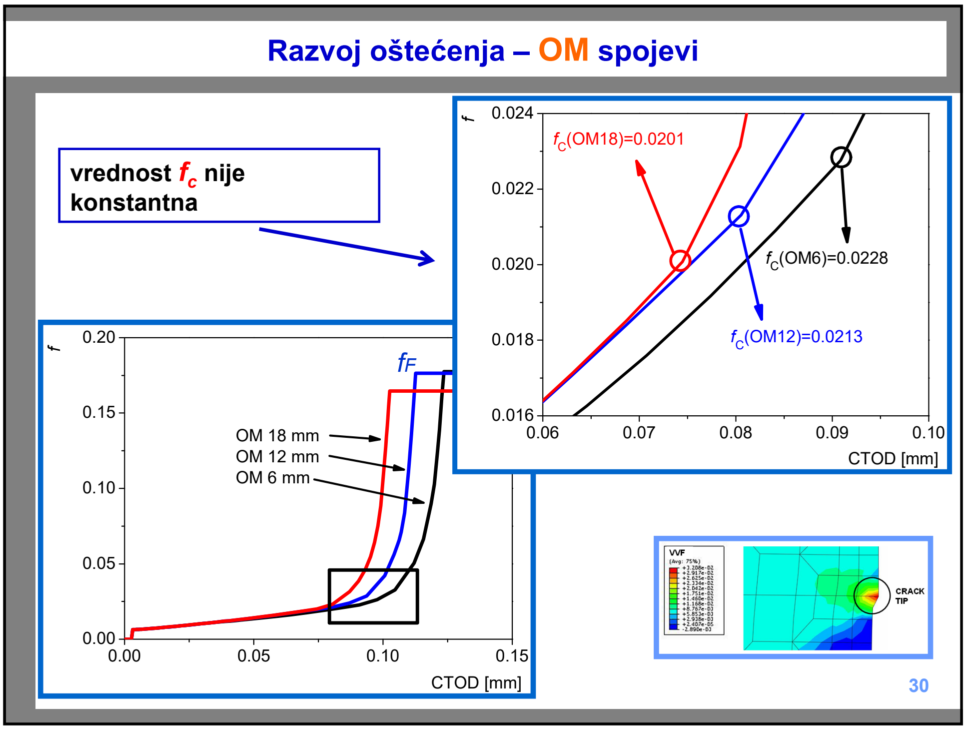
Određivanje CTOD – δ_5 koncept

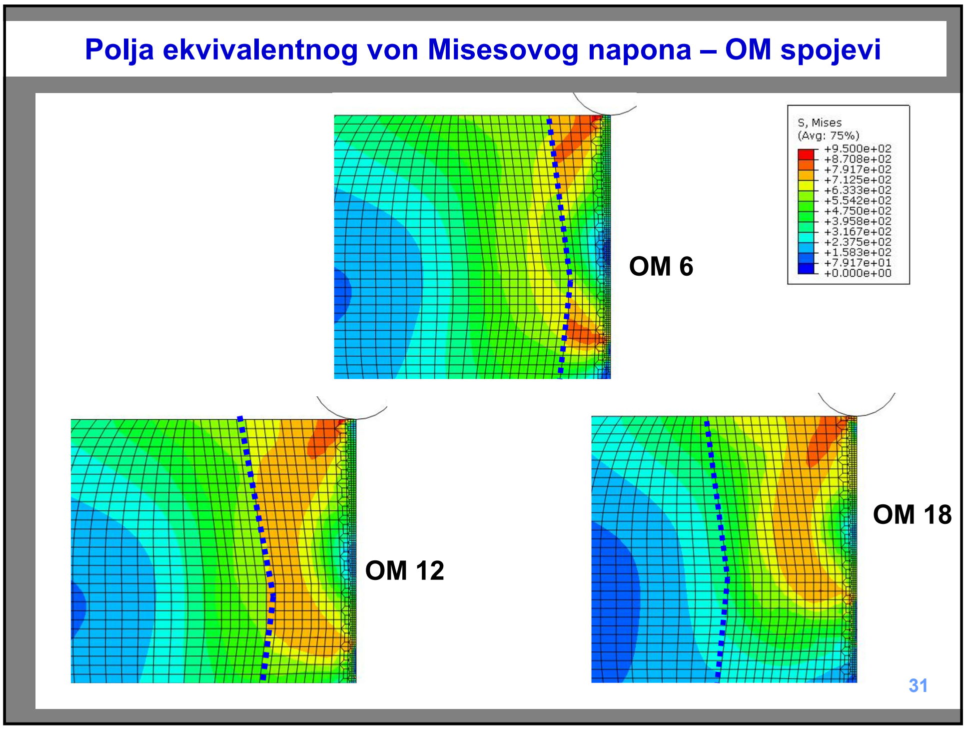


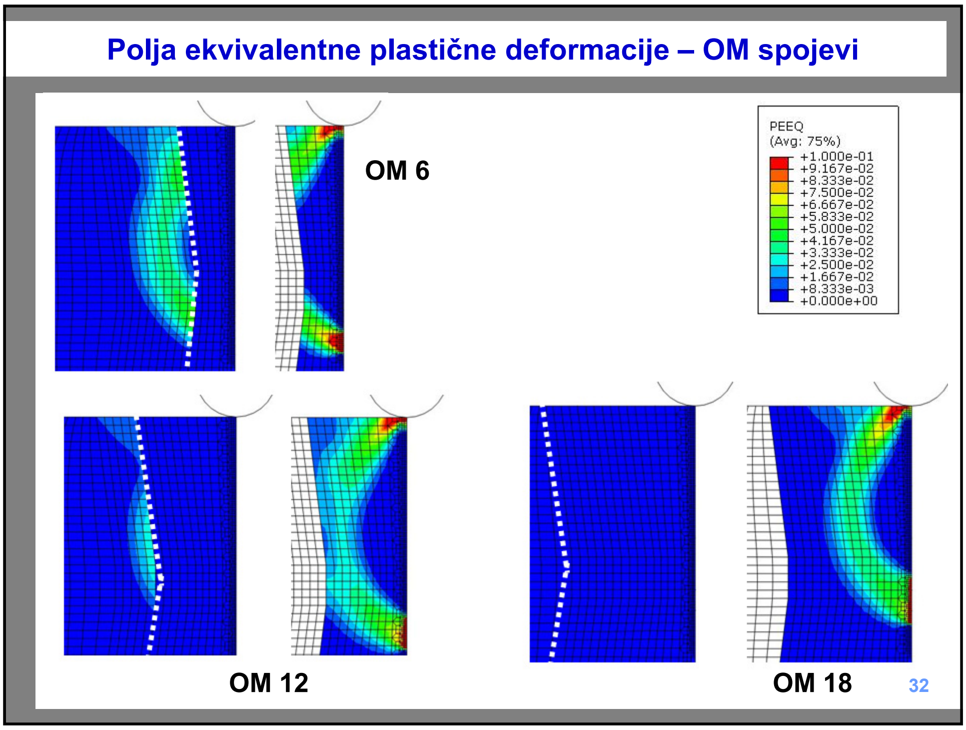


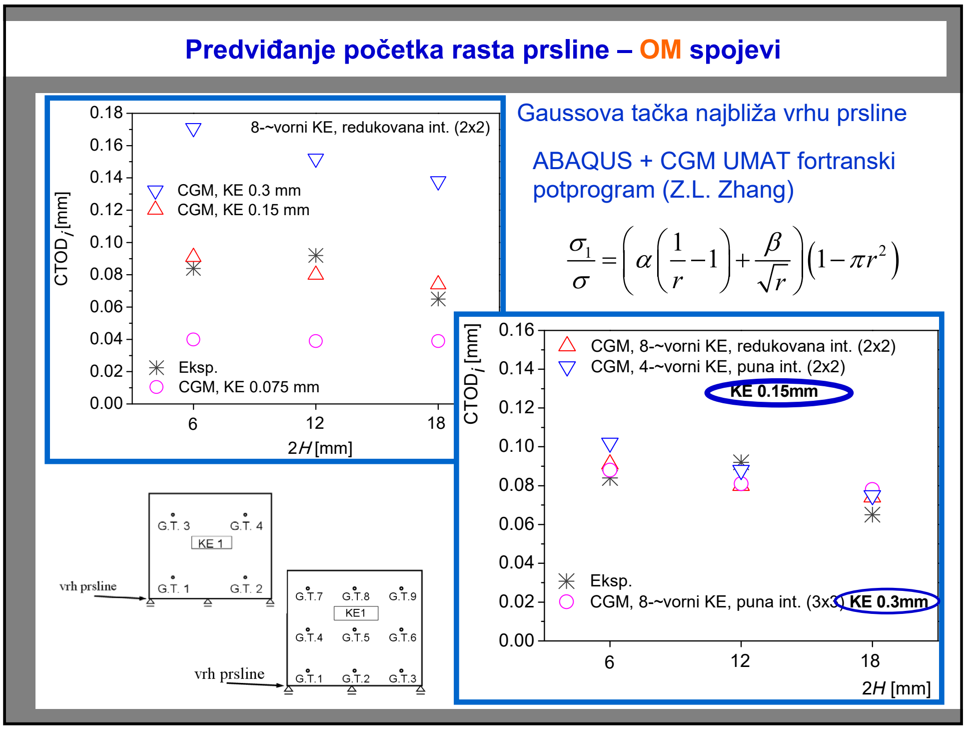
28

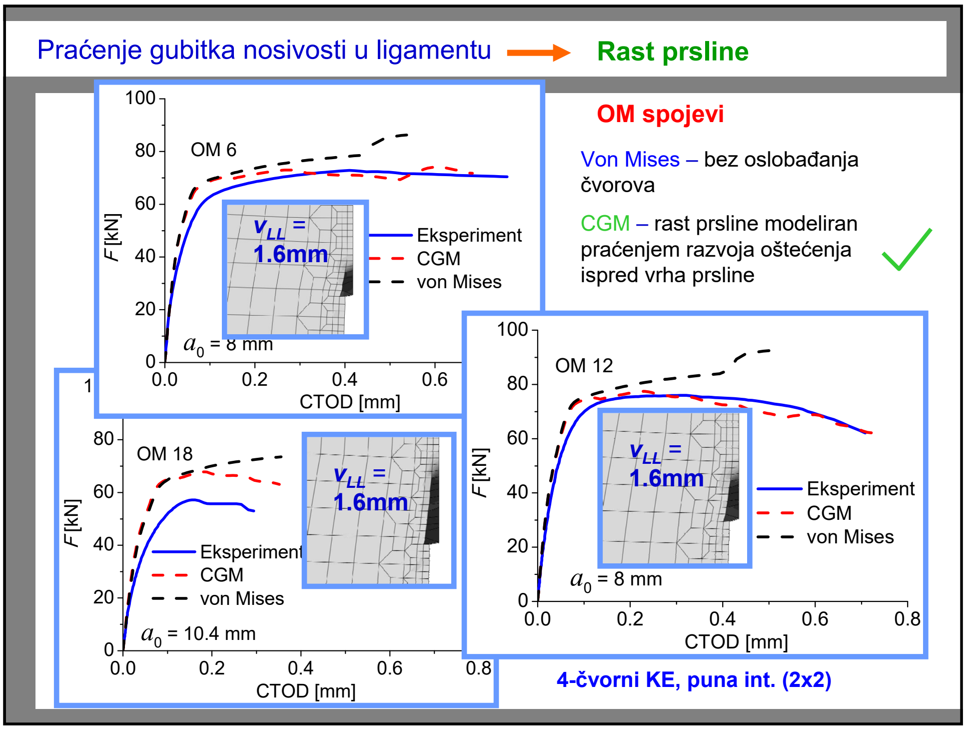

Kriterijum početka rasta prsline – lokalni pristup !
CTOD – δ5 nije korišćeno kao kriterijum nastanka loma!
Opterećenje
Kontakt
Simetrija
Kontakt
Oslonac
Granični uslovi simetrije
VRH PRSLINE
VVF
(Avg: 75%)
ABAQUS +
CGM UMAT fortranski potprogram (Z.L. Zhang)
Kod primene CGM, NUMERIČKA analiza cilindrične glatke epruvete nije neophodna, eksperimentalno ispitivanje je neophodno zbog formiranja krive stvarni napon – stvarna deformacija
29

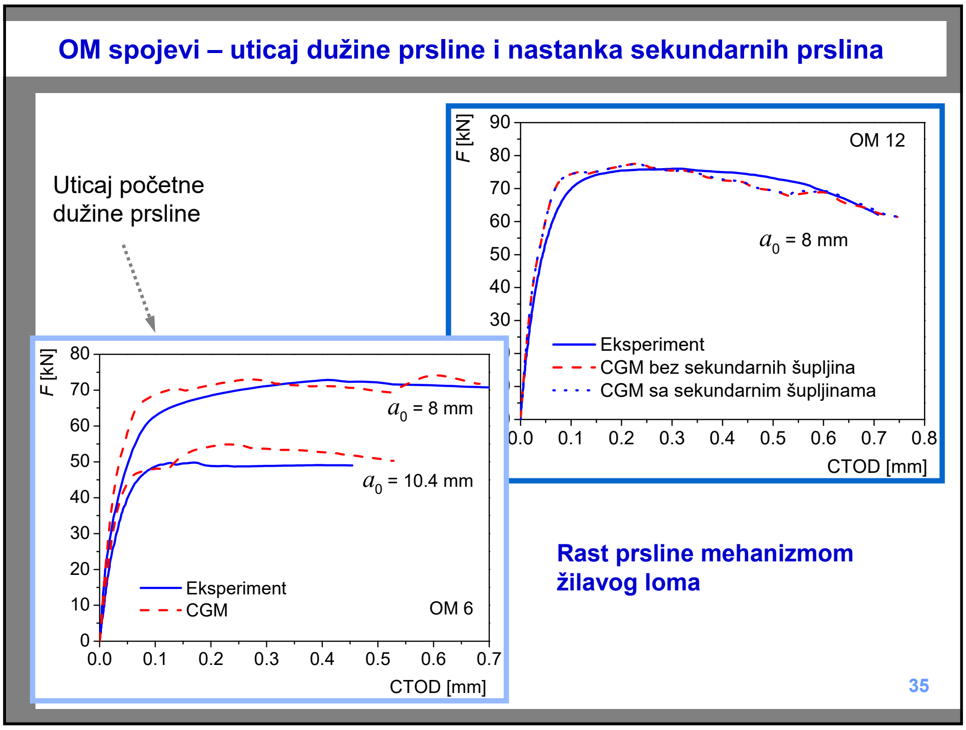

Razvoj oštećenja – OM spojevi
vrednost fc nije konstantna
fc(OM18)=0.0201
fc(OM6)=0.0228
fc(OM12)=0.0213
CTOD [mm]
fF
OM 18 mm
OM 12 mm
OM 6 mm
CTOD [mm]
VVF
CRACK TIP
30

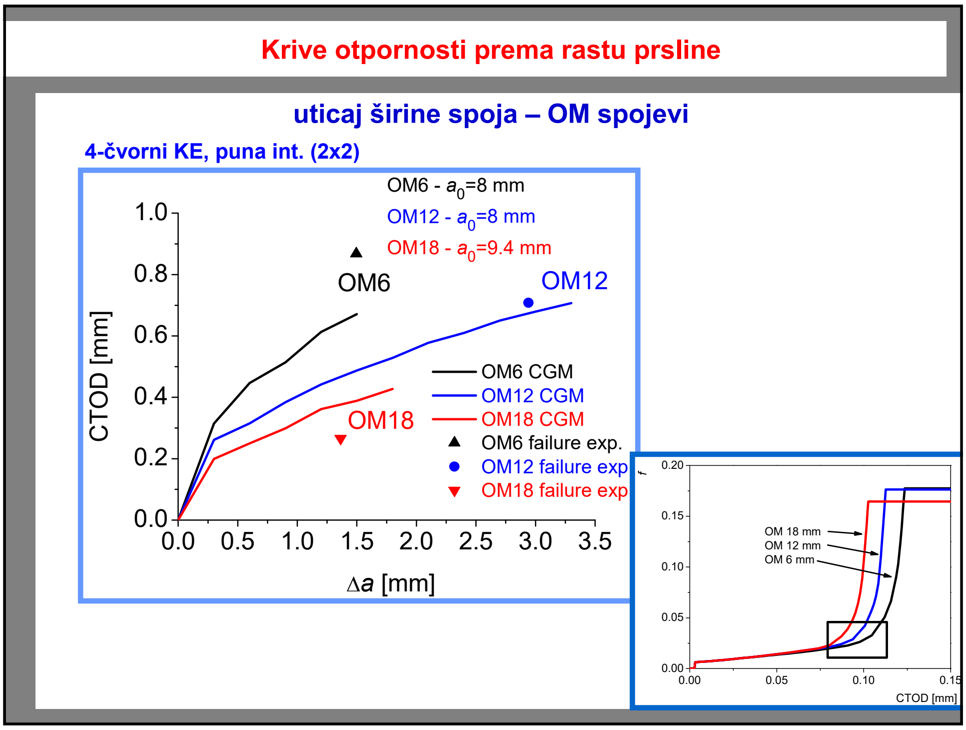

Polja ekvivalentnog von Misesovog napona – OM spojevi
S, Mises
(Avg: 75%)
+9.500e+02
+8.708e+02
+7.917e+02
+7.125e+02
+6.333e+02
+5.542e+02
+4.750e+02
+3.958e+02
+3.167e+02
+2.375e+02
+1.583e+02
+7.917e+01
+0.000e+00
OM 6
OM 12
OM 18
31

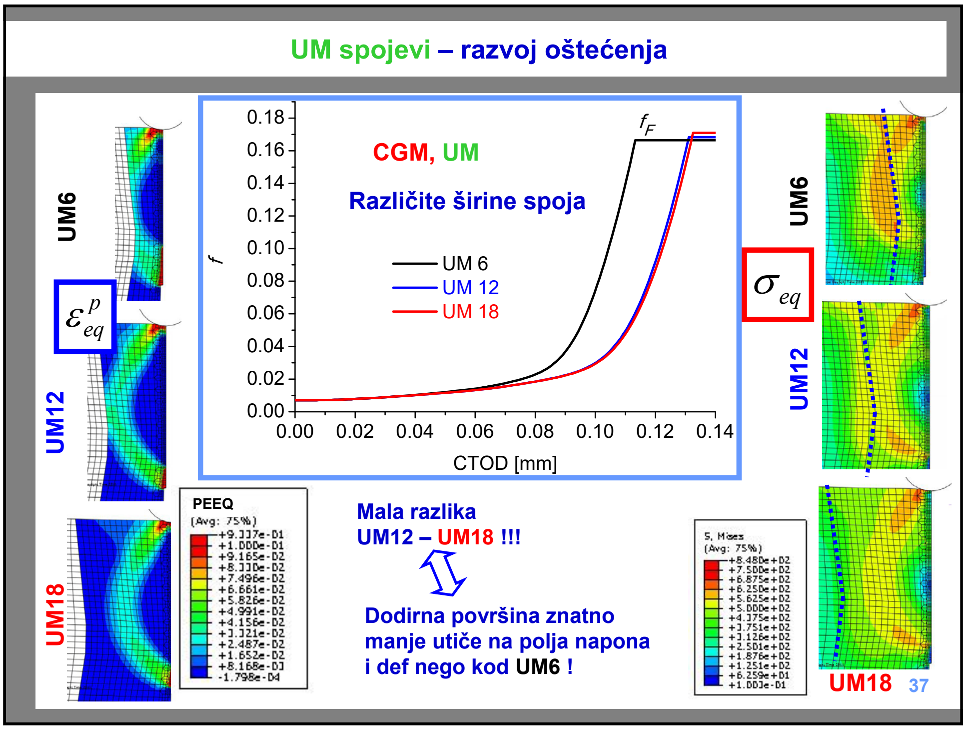

Polja ekvivalentne plastične deformacije – OM spojevi
PEEQ
(Avg: 75%)
+1.000e-01
+9.167e-02
+8.333e-02
+7.500e-02
+6.667e-02
+5.833e-02
+5.000e-02
+4.167e-02
+3.333e-02
+2.500e-02
+1.667e-02
+8.333e-03
+0.000e+00
OM 6
OM 12
OM 18
32

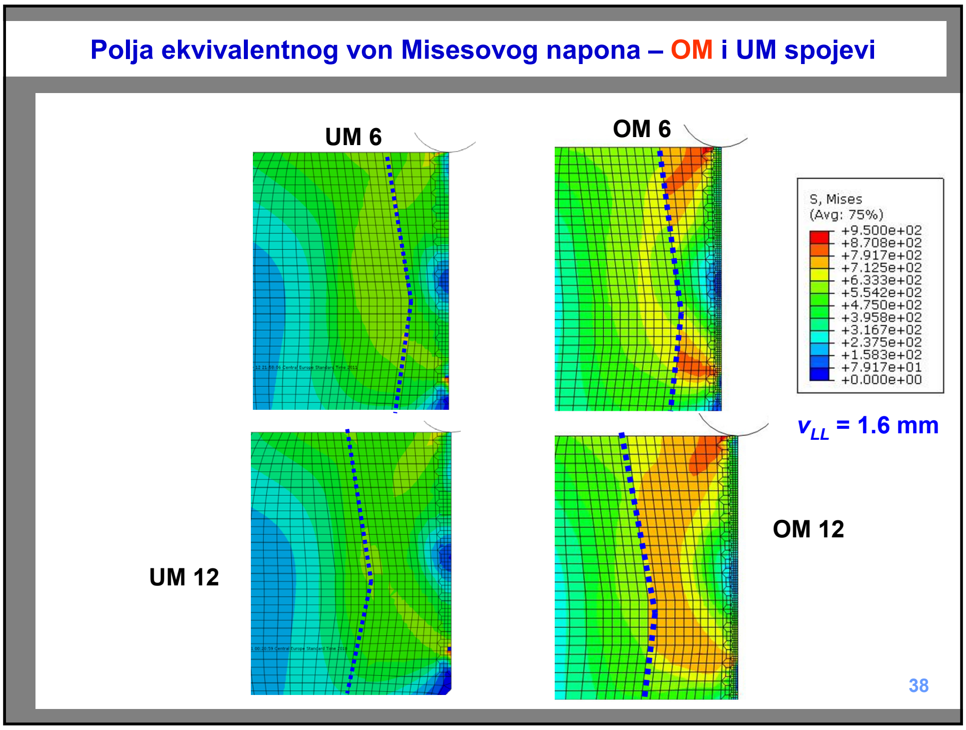

Predviđanje početka rasta prsline – OM spojevi
Gaussova tačka najbliža vrhu prsline
ABAQUS + CGM UMAT fortranski potprogram (Z.L. Zhang)
$$\frac{\sigma_1}{\sigma}=\left(\alpha\left(\frac{1}{r}-1\right)+\frac{\beta}{\sqrt{r}}\right)\left(1-\pi r^2\right)$$
8-~vorni KE, redukovana int. (2x2)
CGM, KE 0.3 mm
CGM, KE 0.15 mm
Eksp.
CGM, KE 0.075 mm
CTOD$_i$ [mm]
2H [mm]
CGM, 8-~vorni KE, redukovana int. (2x2)
CGM, 4-~vorni KE, puna int. (2x2)
KE 0.15mm
CGM, 8-~vorni KE, puna int. (3x3)
KE 0.3mm
vrh prsline
KE 1
KE1

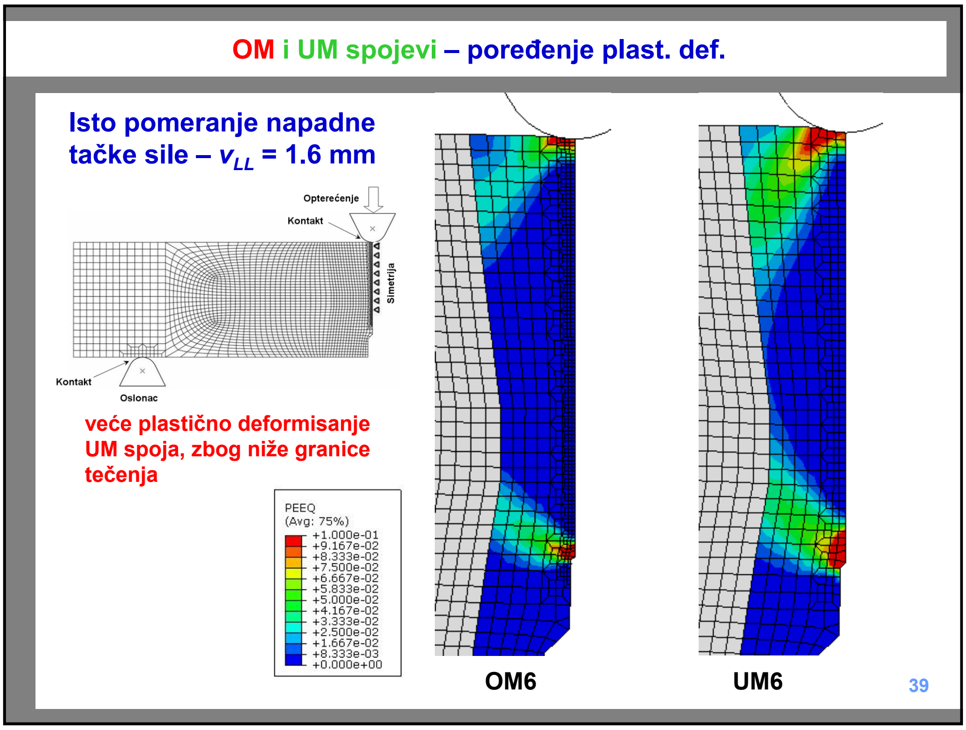

Praćenje gubitka nosivosti u ligamentu
Rast prsline
OM spojevi
Von Mises – bez oslobađanja čvorova
CGM – rast prsline modeliran praćenjem razvoja oštećenja ispred vrha prsline
OM 6
OM 12
OM 18
V_{LL} = 1.6mm
Eksperiment
CGM
von Mises
a_0 = 8 mm
a_0 = 10.4 mm
F [kN]
CTOD [mm]
4-čvorni KE, puna int. (2x2)

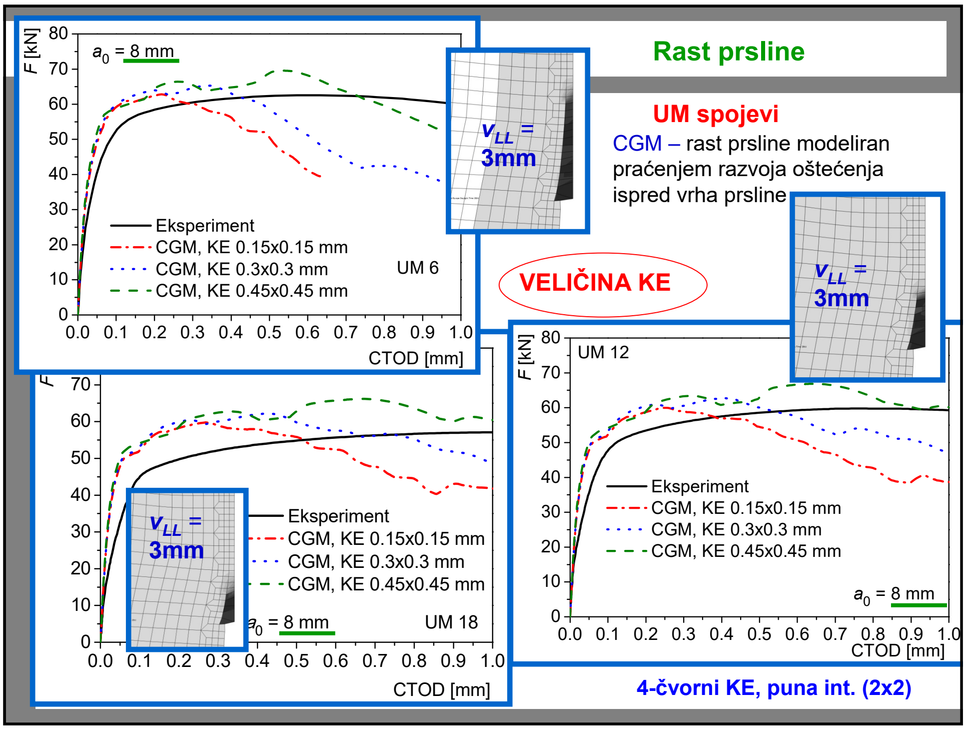

OM spojevi – uticaj dužine prsline i nastanka sekundarnih prslina
Uticaj početne dužine prsline
F [kN]
OM 12
a0 = 8 mm
Eksperiment
CGM bez sekundarnih šupljina
CGM sa sekundarnim šupljinama
CTOD [mm]
F [kN]
a0 = 8 mm
a0 = 10.4 mm
Eksperiment
CGM
OM 6
CTOD [mm]
Rast prsline mehanizmom žilavog loma
35


Krive otpornosti prema rastu prsline
uticaj širine spoja – OM spojevi
4-čvorni KE, puna int. (2x2)
OM6 - a0=8 mm
OM12 - a0=8 mm
OM18 - a0=9.4 mm
OM6
OM12
OM18
CTOD [mm]
Δa [mm]
OM6 CGM
OM12 CGM
OM18 CGM
OM6 failure exp.
OM12 failure exp
OM18 failure exp
OM 18 mm
OM 12 mm
OM 6 mm
CTOD [mm]

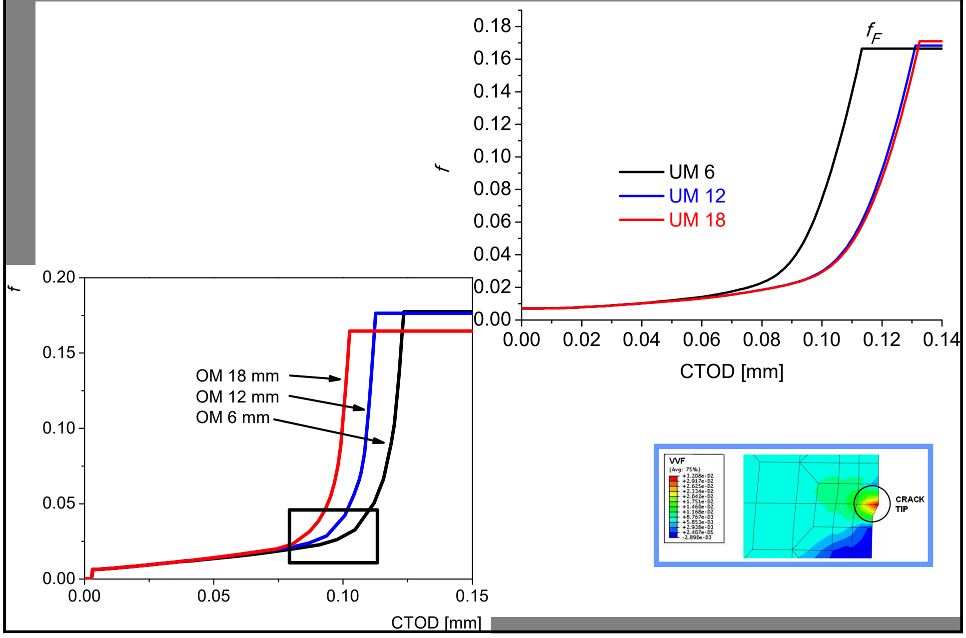

UM spojevi – razvoj oštećenja
CGM, UM
Različite širine spoja
f
f_F
UM 6
UM 12
UM 18
CTOD [mm]
UM6
UM12
UM18
ε_{eq}^{p}
σ_{eq}
PEEQ
(Avg: 75%)
S, Mises
(Avg: 75%)
Mala razlika
UM12 – UM18 !!!
Dodirna površina znatno
manje utiče na polja napona
i def nego kod UM6 !
37


Polja ekvivalentnog von Misesovog napona – OM i UM spojevi
UM 6
OM 6
UM 12
OM 12
S, Mises
(Avg: 75%)
+9.500e+02
+8.708e+02
+7.917e+02
+7.125e+02
+6.333e+02
+5.542e+02
+4.750e+02
+3.958e+02
+3.167e+02
+2.375e+02
+1.583e+02
+7.917e+01
+0.000e+00
v_{LL} = 1.6 mm
38

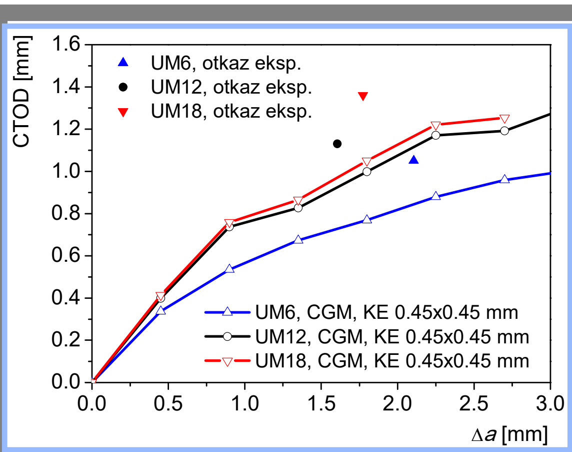

OM i UM spojevi – poređenje plast. def.
Isto pomeranje napadne tačke sile – v_{LL} = 1.6 mm
Opterećenje
Kontakt
Simetrija
Kontakt
Oslonac
veće plastično deformisanje UM spoja, zbog niže granice tečenja
PEEQ
(Avg: 75%)
+1.000e-01
+9.167e-02
+8.333e-02
+7.500e-02
+6.667e-02
+5.833e-02
+5.000e-02
+4.167e-02
+3.333e-02
+2.500e-02
+1.667e-02
+8.333e-03
+0.000e+00
OM6
UM6
39


Rast prsline
UM spojevi
CGM – rast prsline modeliran praćenjem razvoja oštećenja ispred vrha prsline
VELIČINA KE
v_{LL} = 3mm
F [kN]
CTOD [mm]
a_0 = 8 mm
Eksperiment
CGM, KE 0.15x0.15 mm
CGM, KE 0.3x0.3 mm
CGM, KE 0.45x0.45 mm
UM 6
UM 12
UM 18
4-čvorni KE, puna int. (2x2)

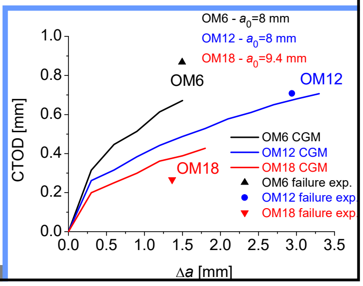
Razvoj oštećenja – poređenje OM i UM spojevi



Kive otpornosti prema rastu prsline



uticaj širine spoja – **UM spojevi**

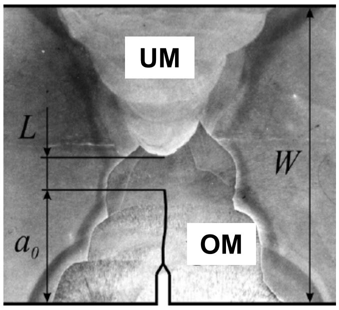


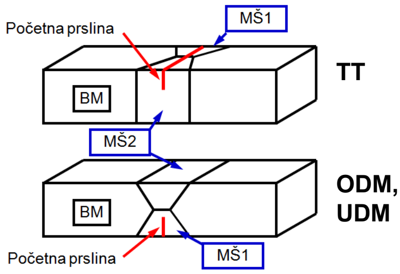
OM spojevi

Zavareni spojevi sa dva metala šava (DM)

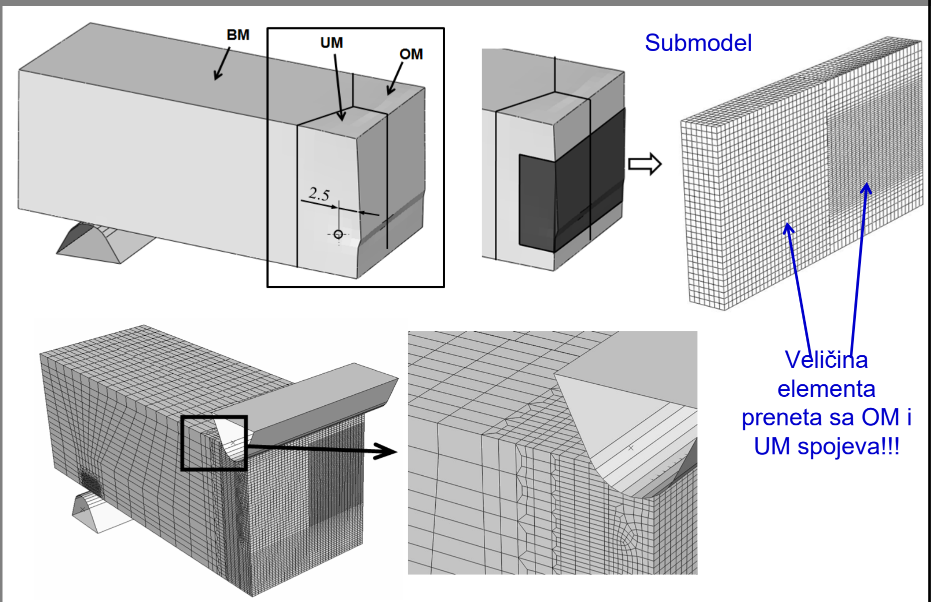
- Dva metala šava, undermatch i overmatch

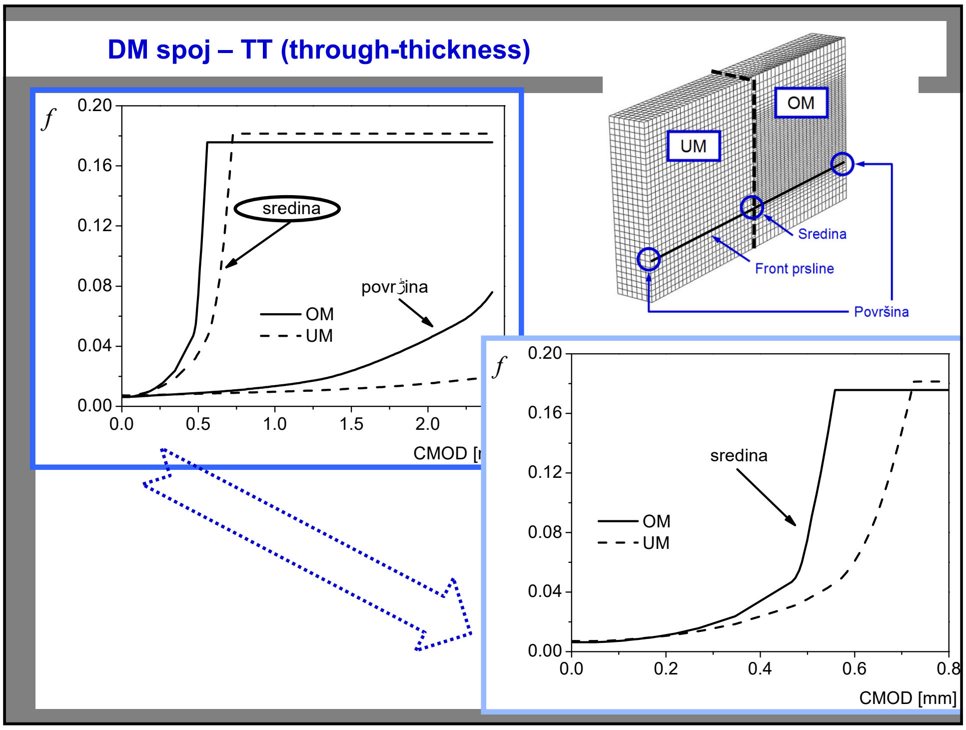
- Spojevi sa dva različita metala šava se koriste :
  - Kod reparaturnog zavarivanja i
  - Zavarivanja niskolegiranih čelika povišene čvrstoće, jer je na taj način omogućeno zavarivanje bez predgrevanja, što smanjuje troškove proizvodnje.

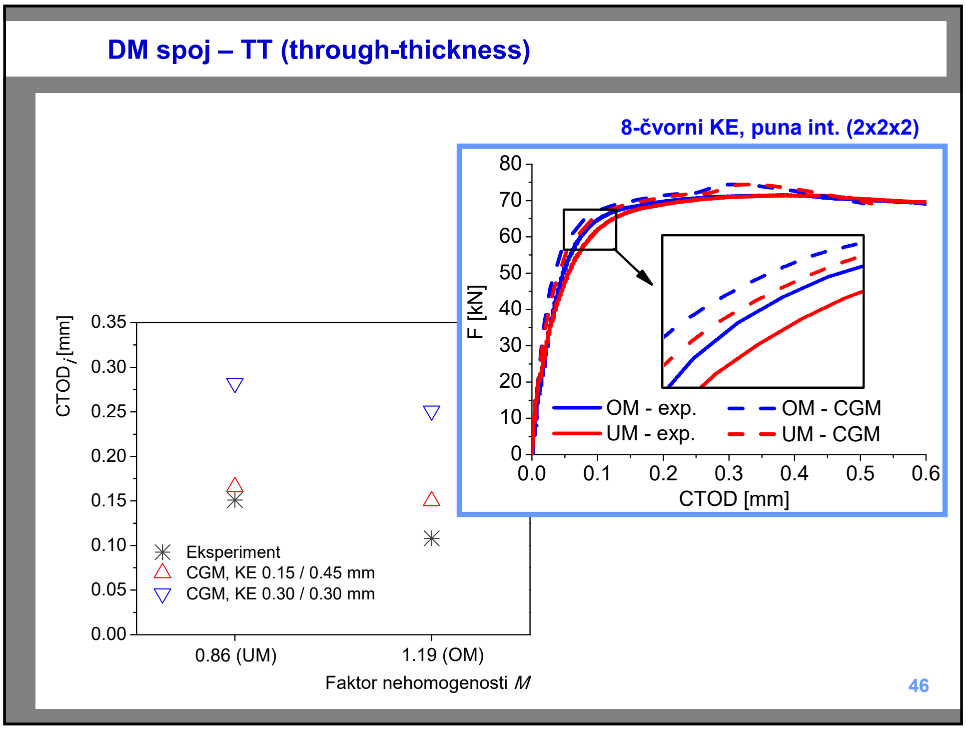




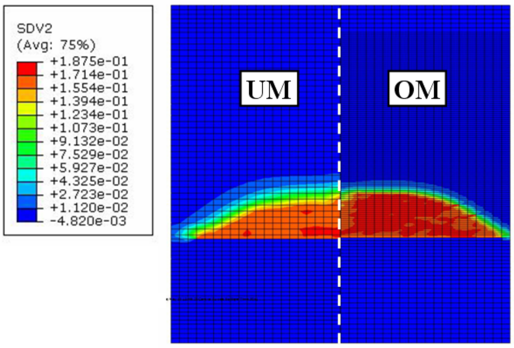
DM spoj – TT (through-thickness)

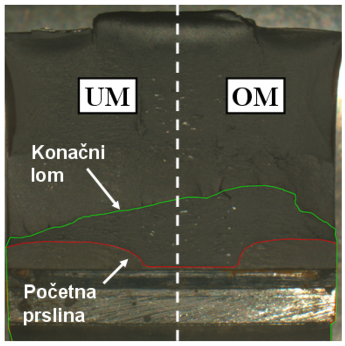



DM spoj – TT (through-thickness)
f
sredina
površina
OM
UM
CMOD
Sredina
Front prsline
Površina
CMOD [mm]


DM spoj – TT (through-thickness)
8-čvorni KE, puna int. (2x2x2)
CTOD$_i$ [mm]
Eksperiment
CGM, KE 0.15 / 0.45 mm
CGM, KE 0.30 / 0.30 mm
0.86 (UM)
1.19 (OM)
Faktor nehomogenosti M
F [kN]
OM - exp.
UM - exp.
OM - CGM
UM - CGM
CTOD [mm]
46

Raspodela *f* u ravni simetrije – TT DM spoj

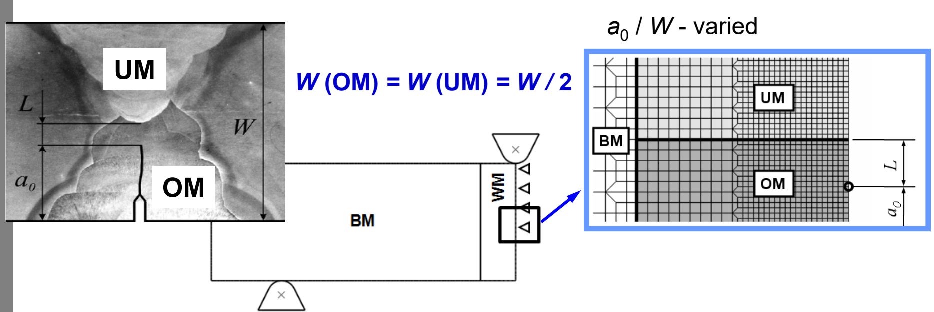




47

ODM i UDM spojevi

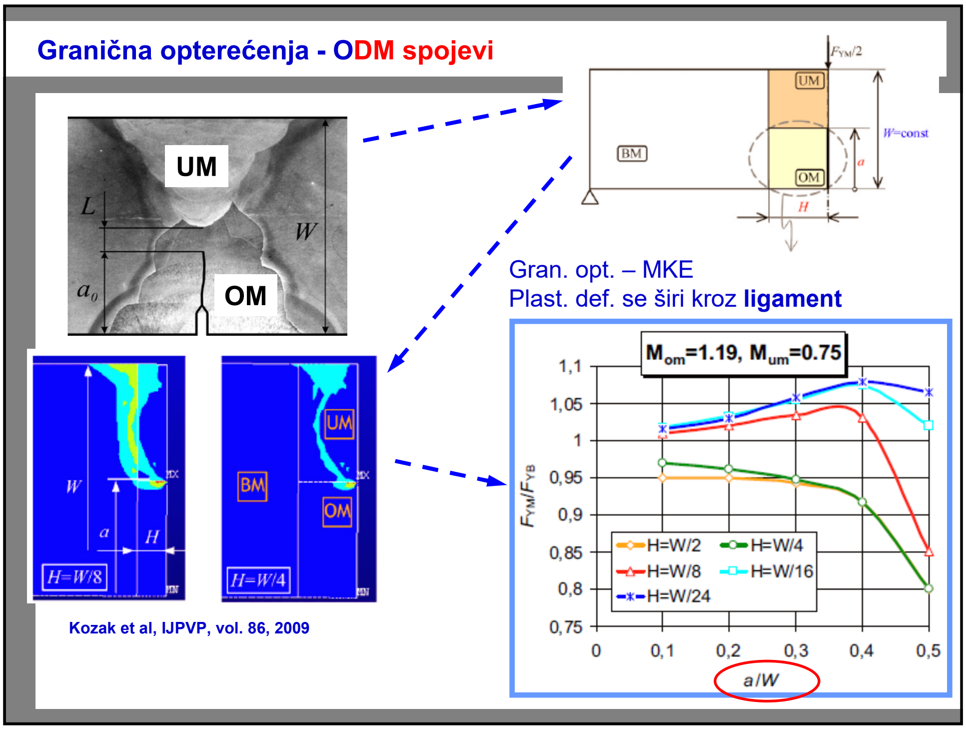
Dodatno ograničeno def. (constraint) – prslina normalna na OM / UM dodirnu površinu



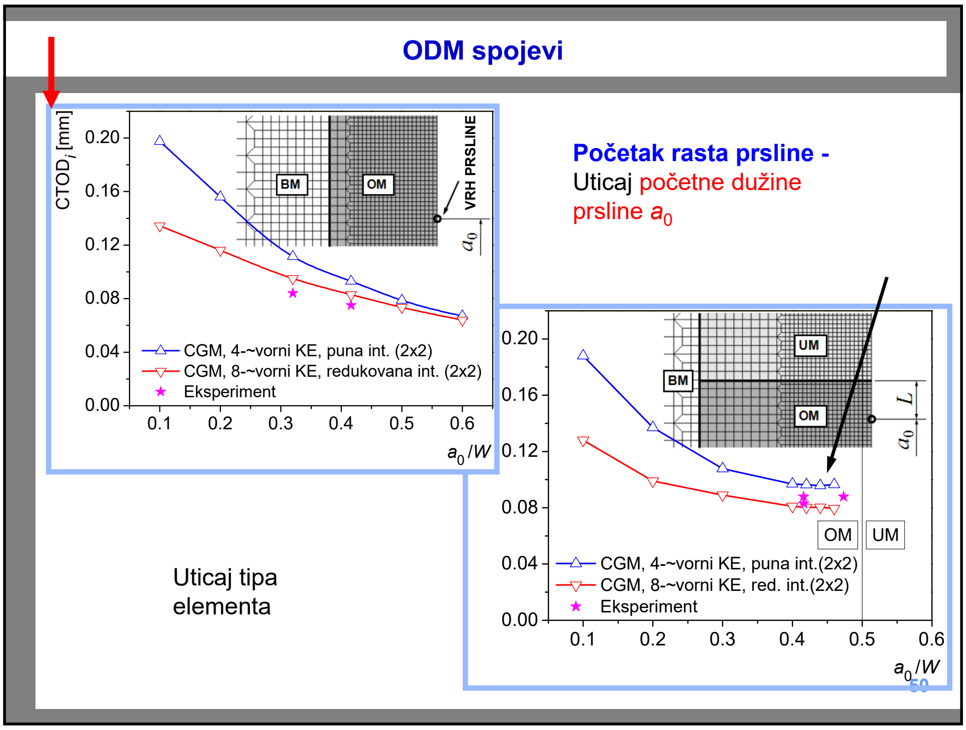
Yield loads - Kozak et al, IJPVP, vol. 86, 2009

Granična opterećenja na osnovu plastičnog deformisanja **ligamenta (MKE)** – zavisnost od a_0

48



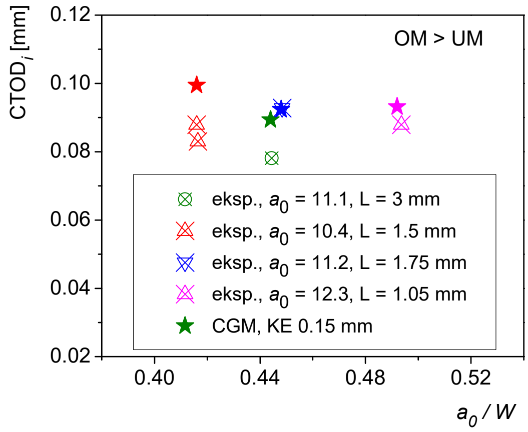
Granična opterećenja - ODM spojevi
UM
OM
L
W
a_0
$F_{YM}/2$
UM
BM
OM
W=const
a
H
H=W/8
H=W/4
BM
UM
OM
Gran. opt. – MKE
Plast. def. se širi kroz ligament
M_{om}=1.19, M_{um}=0.75
F_{YM}/F_{YB}
H=W/2
H=W/4
H=W/8
H=W/16
H=W/24
a/W
Kozak et al, IJPVP, vol. 86, 2009



ODM spojevi
CTOD$_i$ [mm]
BM
OM
VRH PRSLINE
a_0
CGM, 4-~vorni KE, puna int. (2x2)
CGM, 8-~vorni KE, redukovana int. (2x2)
Eksperiment
a_0/W
Početak rasta prsline -
Uticaj početne dužine prsline a_0
UM
BM
OM
L
a_0
OM
UM
CGM, 4-~vorni KE, puna int.(2x2)
CGM, 8-~vorni KE, red. int.(2x2)
Eksperiment
a_0/W
Uticaj tipa elementa
50

ODM spojevi

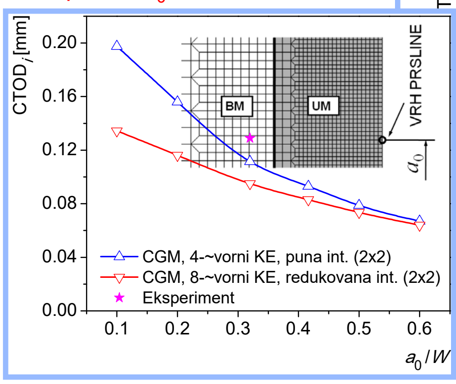
Poređenje vrednosti $CTOD_i$ za ODM spojeve dobijenih eksperimentalno i primenom CGM

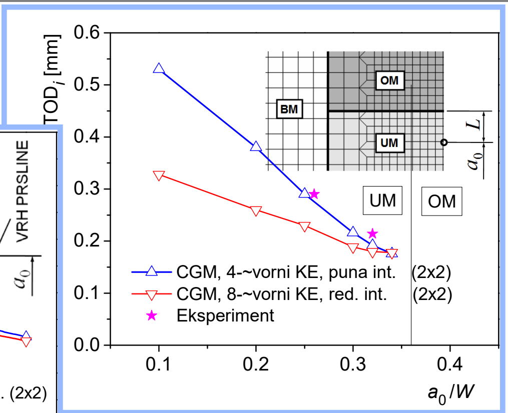


51

UDM spojevi

Početak rasta prsline -
Uticaj početne dužine prsline a_0

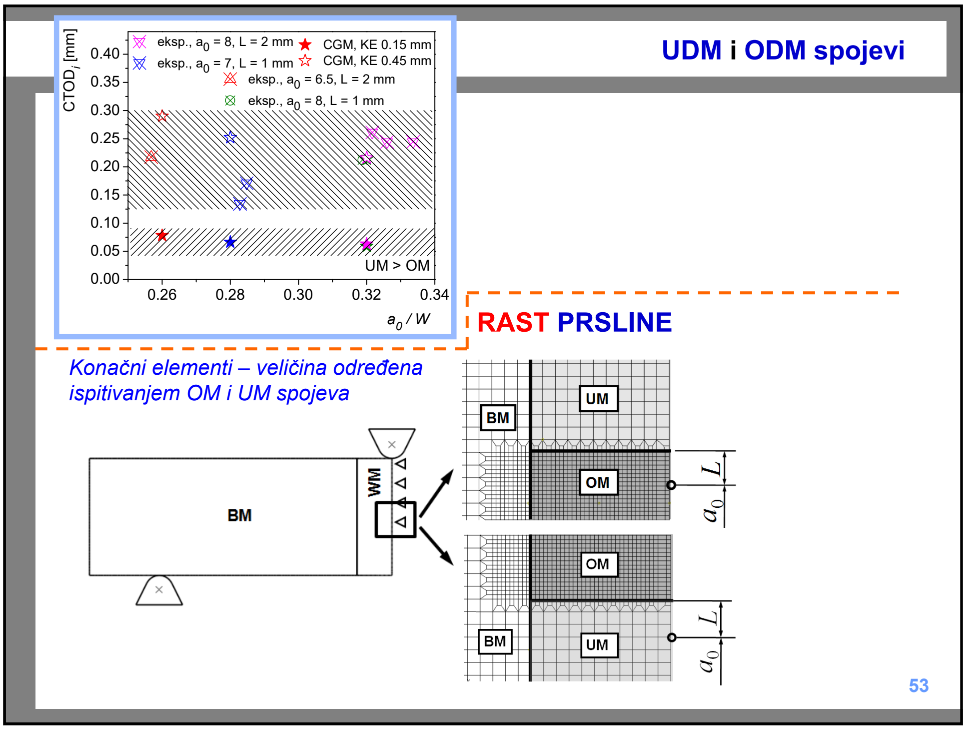


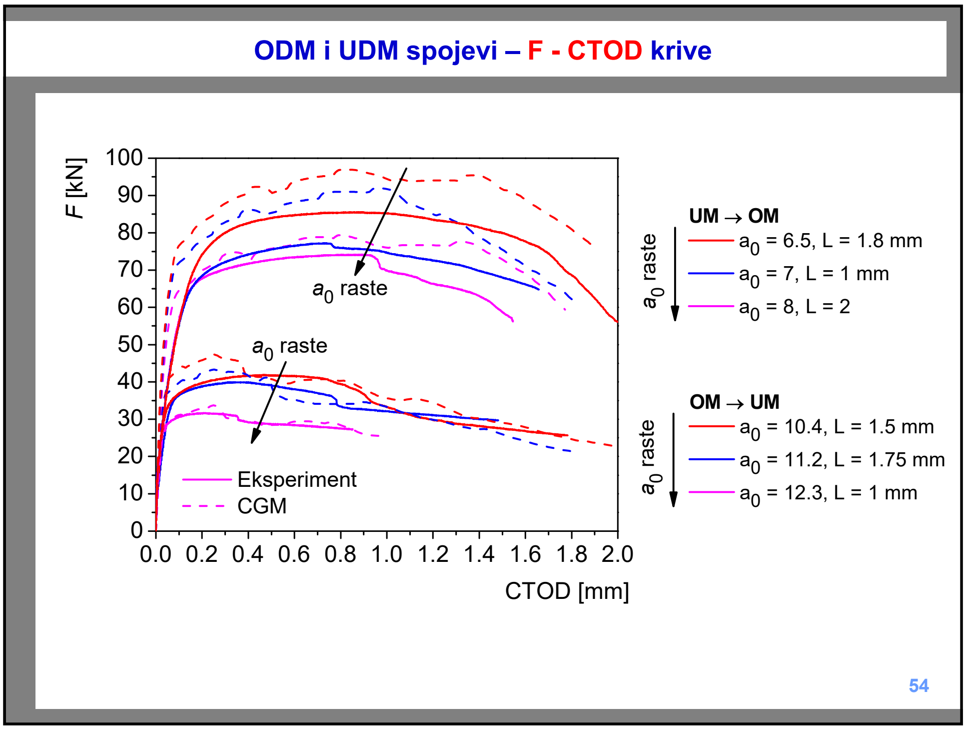


Poređenje vrednosti $CTOD_i$ za ODM spojeve dobijenih eksperimentalno i primenom CGM

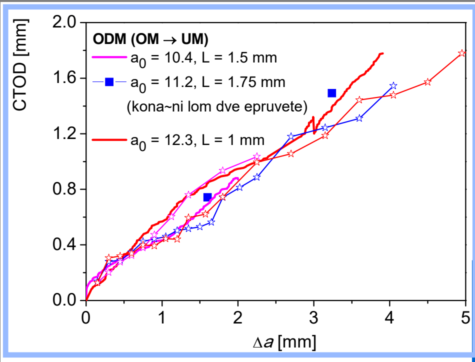
W* (UM) ≈ 1/3 *W

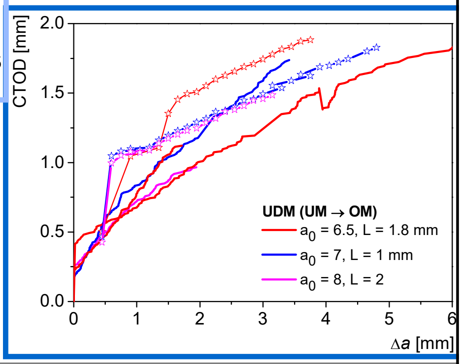
52


UDM i ODM spojevi
CTOD$_i$ [mm]
eksp., a_0 = 8, L = 2 mm
eksp., a_0 = 7, L = 1 mm
eksp., a_0 = 6.5, L = 2 mm
eksp., a_0 = 8, L = 1 mm
CGM, KE 0.15 mm
CGM, KE 0.45 mm
UM > OM
a_0 / W
RAST PRSLINE
Konačni elementi – veličina određena ispitivanjem OM i UM spojeva
BM
WM
UM
OM
L
a_0
53


ODM i UDM spojevi – F - CTOD krive
F [kN]
CTOD [mm]
a_0 raste
a_0 raste
Eksperiment
CGM
UM → OM
a_0 = 6.5, L = 1.8 mm
a_0 = 7, L = 1 mm
a_0 = 8, L = 2
OM → UM
a_0 = 10.4, L = 1.5 mm
a_0 = 11.2, L = 1.75 mm
a_0 = 12.3, L = 1 mm
a_0 raste
a_0 raste
54

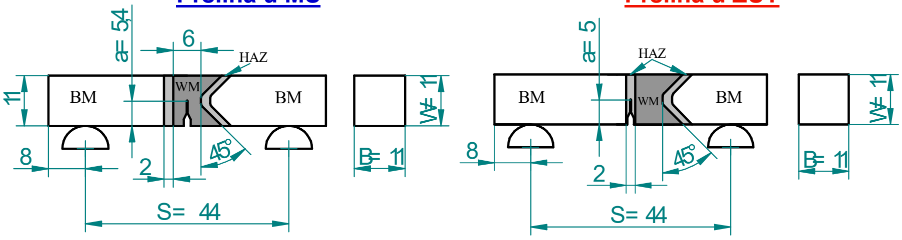
ODM i UDM spojevi – krive otpornosti prema rastu prsline





Spojevi sa prslinom u metalu šava i zoni uticaja toplote (ZUT)

Prslina u MŠ **Prslina u ZUT**



- Spoj se sastoji od 4 zone: BM, ZUT (GZ ZUT, FZ ZUT) i MŠ.
- Osnovni metal BM – niskolegirani čelik povišene čvrstoće Niomol 490K
- Prslina u MŠ ili na *granici GZ ZUT i FZ ZUT*.
- K – spoj omogućuje formiranje početne prsline u ZUT.
- CGM korišćen za analizu loma zavarenih epruveta

56

Materijali

Hemijski sastav, mas.%

Materijal	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr	Ni
NIOMOL 490K	0.123	0.33	0.56	0.003	0.002	0.34	0.57	0.13
VAC 60	0.096	0.58	1.24	0.013	0.160	0.02	0.07	0.03

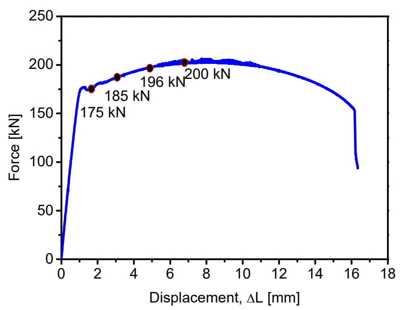
Parameteri CGM

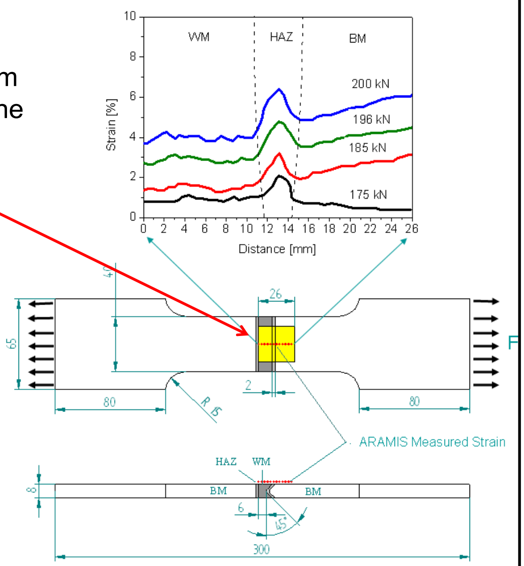
Materijal	f_v	λ (μm)	f_N	ε_N
ZUT	0.0096	487	0.01475	≈ 0.3
MŠ	0.0194	202	0.01068	≈ 0.3

57

Određivanje mehaničkih osobina zona spoja: eksp.-num. postupak

Deformacije tokom ispitivanja su praćene ARAMIS stereometrijskim mernim sistemom na delu površine uzorka koji uključuje sve zone zavarenog spoja

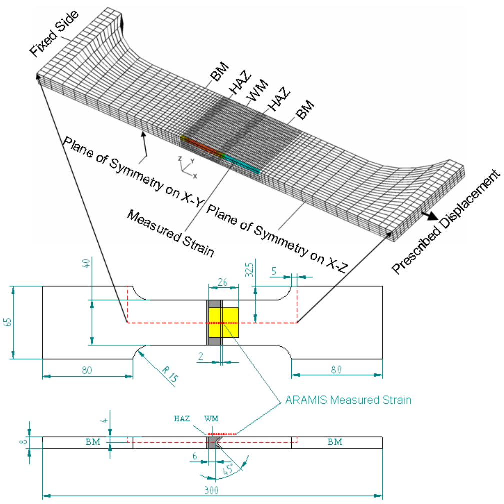




58

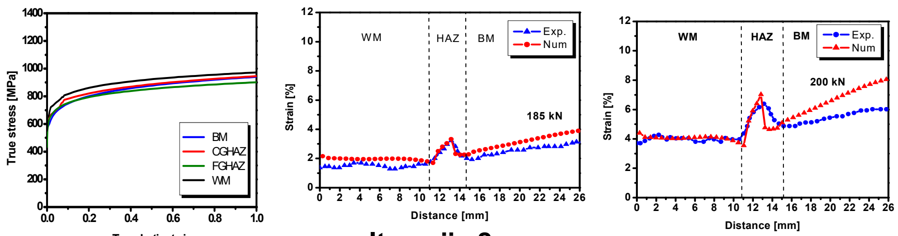
Određivanje mehaničkih osobina zona spoja: eksp.-num. postupak

- Eksperimentalni rezultati (sila i deformacija za sve zone spoja) Hollomonov zakon
- 3D modeli KE pločaste epruvete za zatezanje formiran od 8-čvornih elemenata kontinuuma.
- Numerički određene deformacije su poređene sa eksperimentalnim podacima za različite zone spoja.
- Iterativni postupak je urađen variranjem *napona tečenja* i *eksponenta deformacionog ojačavanja n* u numeričkom modelu, do dobijanja kombinacije koja rezultira dobrim slaganjem deformacija određenih numerički i eksperientalno.

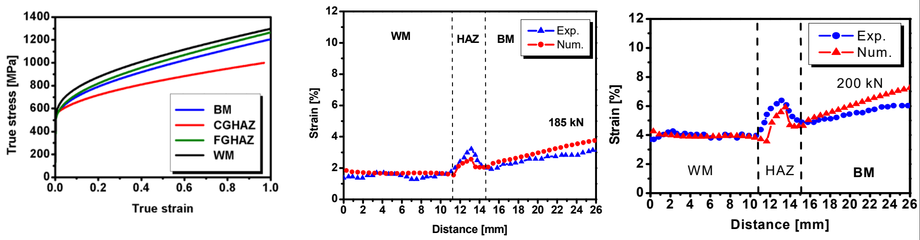


59

Određivanje mehaničkih osobina zona spoja: eksp.-num. postupak



Iteracija 2

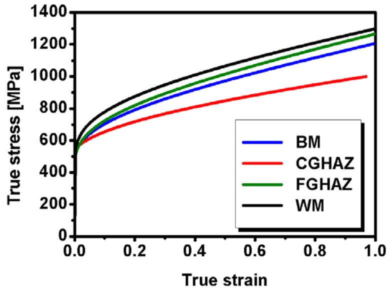


Poslednja iteracija

60

Mehaničke osobine zona spoja

Krive stv. napon – stv. deformacija



Mehaničke osobine zona spoja

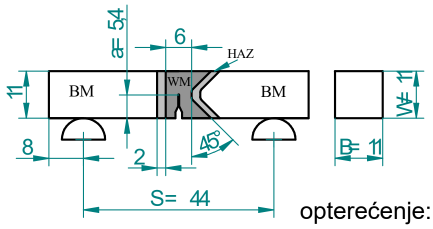
Material	*E* [GPa]	$\sigma_{Y,}$ [MPa]	*n*
BM	203	520	0.219
CGHAZ	203	550	0.170
FGHAZ	195	500	0.231
WM	200	530	0.212

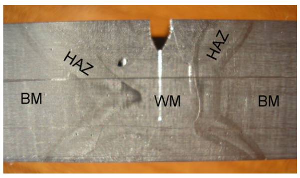
61

Numerička analiza

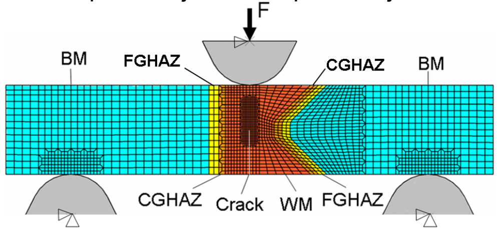
ABAQUS + CGM korisnički potprogram (autor Z.L. Zhang)
2D RSD, 8-čvorni KE

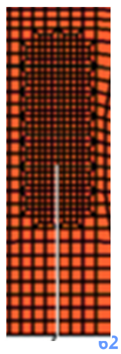
Prslina u MŠ $Dim.KE \approx \lambda$ (0.2 x 0.2 mm)





opterećenje: zadato pomeranje



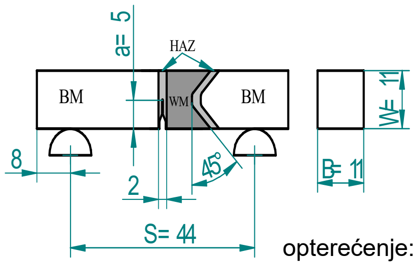


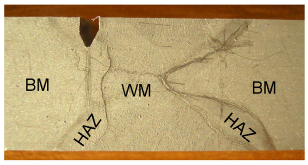
62

Numerička analiza

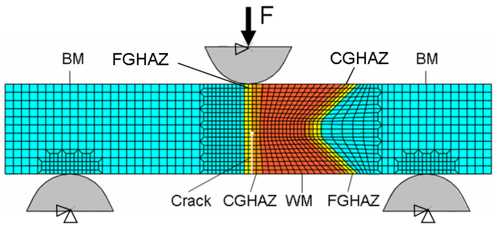
$Dim.KE \approx \lambda$, dimenzije KE (0.5 x 0.5 mm)

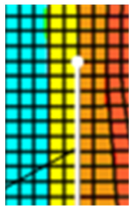
Prslina u ZUT





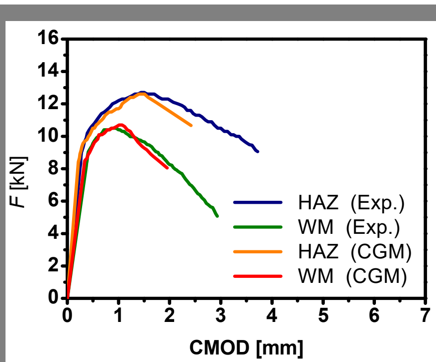
opterećenje: zadato pomeranje

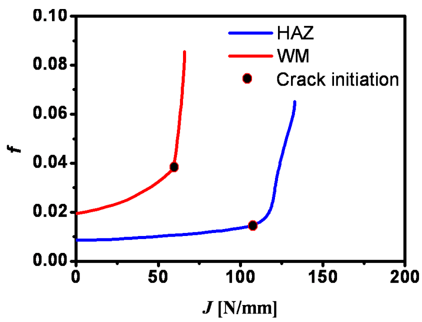




63

Predviđanje početka rasta prsline





Poređenje krivih F-CMOD dobijenih eksperimentalno i primenom CGM

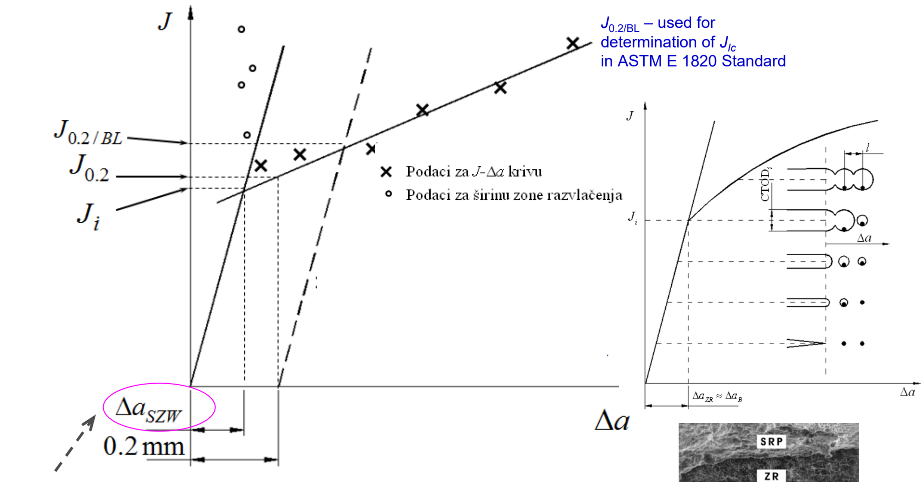
Vrednost parametra oštećenja praćena ispred vrha prsline

Kritične vrednosti J integrala koje odgovaraju početku rasta

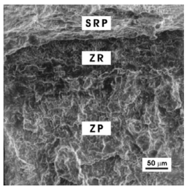
Materijal	J_i [N/mm] (num.)	$J_{0.2/BL}$ [N/mm] (eksp.)
ZUT	84	104
MŠ	58	65

64

Critical values of J integral (according to ESIS P2-92)



SZW can be determined using a scanning electron microscope (examination of the fracture surface)

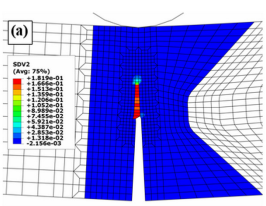


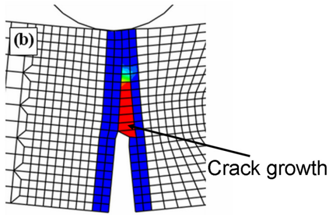
Other critical fracture mechanics parameters can also be determined this way, e.g. CTOD$_i$, CTOD$_{0.2/BL}$ and CTOD$_{0.2}$

65

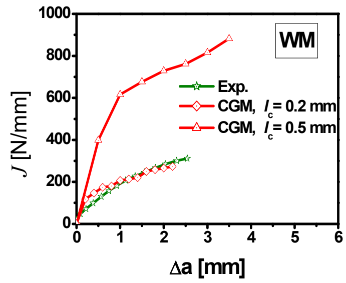
Predviđanje rasta prsline

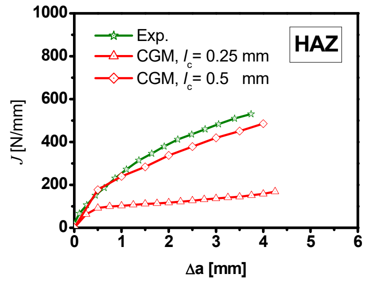
Otkaz KE kada f dostigne f_F → Rast prsline, $f_F = 0.15 + f_0$





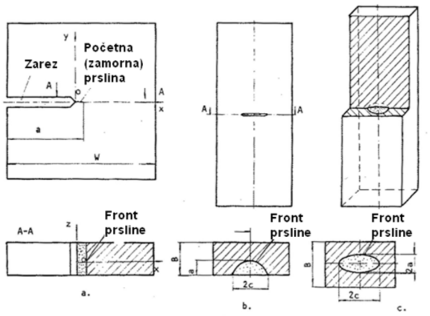
Raspodela zapreminskog udela šupljina u MŠ i ZUT





66

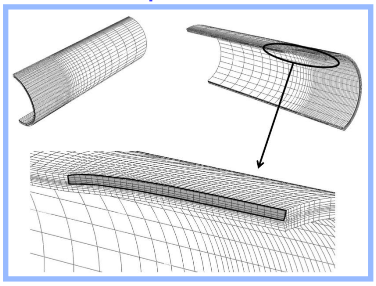
Oblici prslina na konstrukcijama

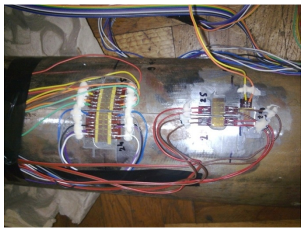


a) prolazna b) površinska c) skrivena

Delimično prolazne (češće u praksi)

Model cevi sa površinskom prslinom u uzdužnom pravcu

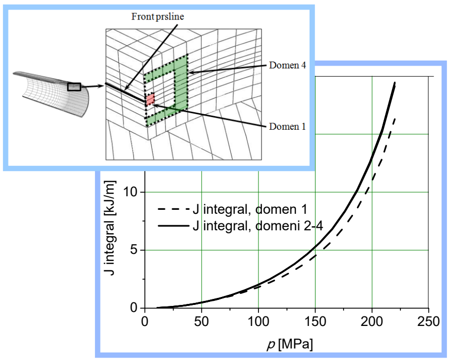




Eksp. ispitivanje cevi sa površinskom prslinom

67

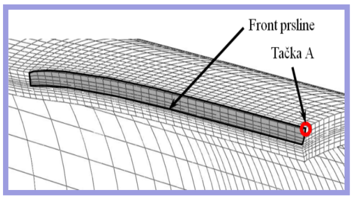
Numeričko određivanje parametara mehanike loma na cevima sa površinskom prslinom

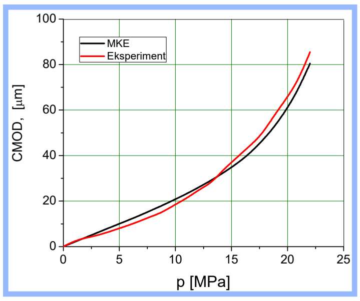


Ne treba razmatrati konačne elemente na samom vrhu prsline (domen 1), zbog toga što koncentracija napona u toj oblasti ima veliki uticaj

Udaljavanjem od vrha prsline, rezultati konvergiraju i gotovo se poklapaju za domene 2-4

Čvor A - praćenje vrednosti CMOD

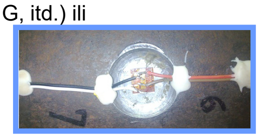


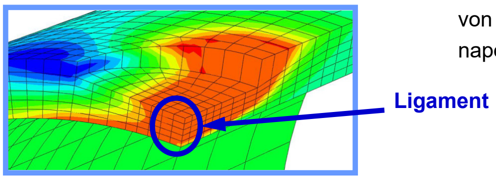


68

Integritet cevovoda sa simuliranim korozionim oštećenjima

- Simulirana koroziona oštećenja – žlebovi izrađeni mašinskom obradom
  (primer geometrije sa koncentratorom napona koji nije tipa prsline
- Rešenja iz literature:
  - analitički/eksperimentalno zasnovana rešenja (ASME B31G, itd.) ili
  - elasto-plastična MKE analiza
    - Napon u ligamentu
    - Kriterijum **zavisi** od oblika oštećenja
    - **Oštećenje** se ne uzima u obzir

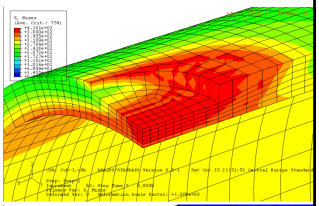




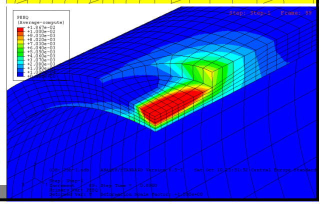
$$\sigma_{ref} = \eta\ \sigma_{UTS}$$

η u granicama od 0.8 do 1.0

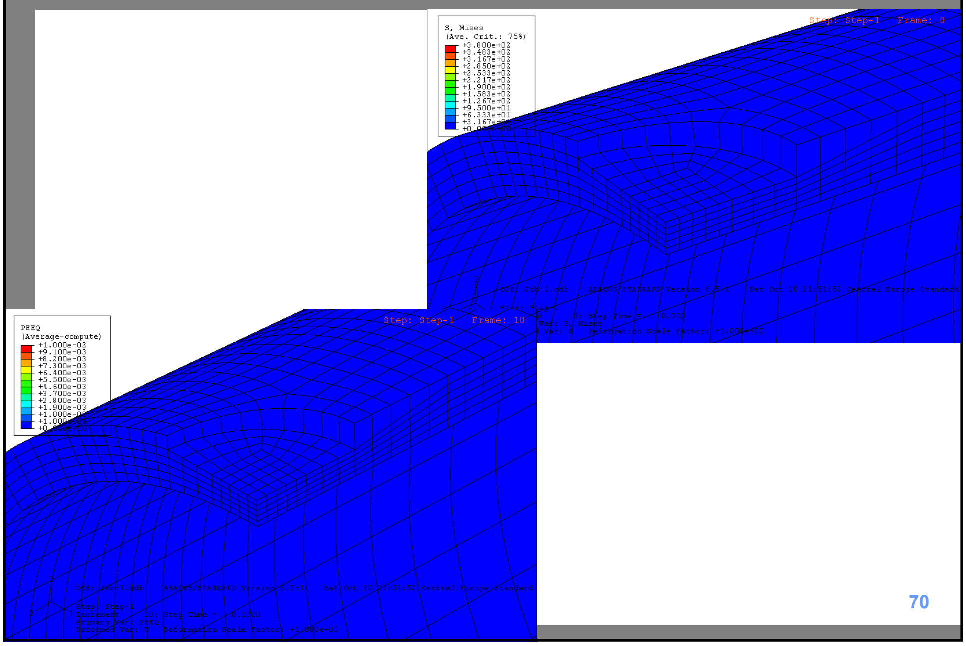
Ekvivalentni von Misesov napon



Ekvivalentna plastična deformacija



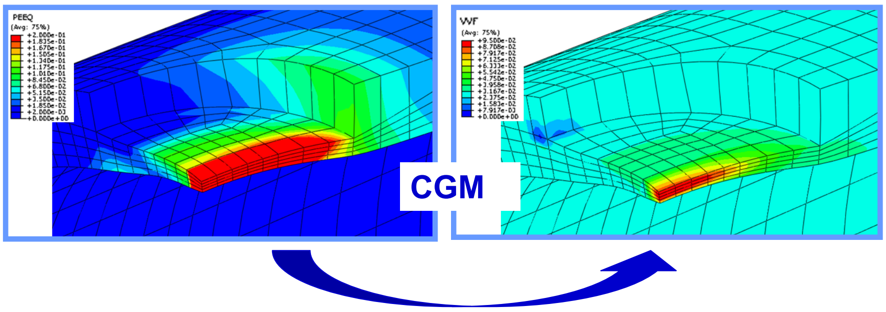
Integritet cevovoda sa simuliranim korozionim oštećenjima



70

Integritet oštećenih cevovoda – mikromehanički pristup

Ekv. plast. def. Poroznost



Lokalizovanje plast. def. > OŠTEĆENJE
Lokalni pristup (**CGM**) – Raspodela parametra oštećenja

Kritični nivo oštećenja – Procena nosivosti na osnovu praćenja **razvoja oštećenja** u ligamentu!

71

Zaključci

Primenom lokalnog pristupa žilavom lomu analizirana je otpornost prema lomu zavarenih spojeva.

Uspostavljena je veza između tri aspekta proučavanja žilavog loma metalnih materijala - ispitivanja mehanike loma, mikrostrukturne analize i proračuna primenom MKE i mikromehaničkih modela.

Nastanak prsline – određen praćenjem porasta nivoa oštećenja ispred vrha prsline;

Rast prsline – modeliran praćenjem gubitka nosivosti po konačnim elementima.

Uticaj širine OM spoja je predviđen primenom CGM, uz određena odstupanja na *F*-CTOD dijagramu u slučaju spoja najveće širine. Takođe, lokalnim pristupom je uspešno predviđen i uticaj dužine početne prsline na otpornost prema lomu.

Kod UM spojeva, uočeno je da povećanje širine spoja iznad 12 mm ne dovodi do znatne promene u otpornosti prema lomu, što je uspešno predviđeno primenom CGM.

Istražena je razlika u ponašanju heterogenog zavarenog spoja u zavisnosti od geometrije i položaja prsline u odnosu na graničnu površinu između *overmatch* i *undermatch* dela u metalu šava. Postignuta je prenosivost parametara - početnog zapreminskog udela šupljina i veličine konačnog elementa u ligamentu ispred vrha prsline.

Kod TT DM spojeva - uspešno je predviđen uticaj heterogenosti duž fronta prsline

72

Zaključci

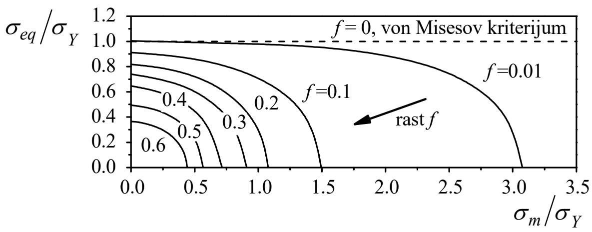
Na spojevima sa dva metala šava i prslinom u jednom od njih razmatran je početak rasta i stabilan rast prsline, i urađena je parametarska studija uticaja dužine prsline i udaljenosti vrha prsline od dodirne površine dva metala šava na predviđanje početka njenog rasta. CGM može da opiše uticaj nehomogenosti materijala, s tim što je u slučaju UDM spojeva predviđena nešto veća nosivost i otpornost prema lomu u poređenju sa eksp. podacima.

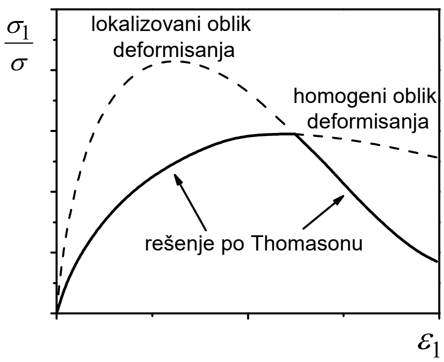
Kombinovani eksperimentalno-numerički postupak je uspešno primenjen za određivanje mehaničkih osobina veoma uskih i heterogenih zona zavarenog spoja - GZ ZUT i FZ ZUT.

Dobijena je veća otpornost prema lomu ZUT u odnosu na MŠ, što se može smatrati povoljnim, imajući u vidu čestu pojavu grešaka i sklonost ka nestabilnom lomu zone uticaja toplote. Takođe, dobijena je velika razlika između odgovarajućih veličina KE između MŠ i ZUT.

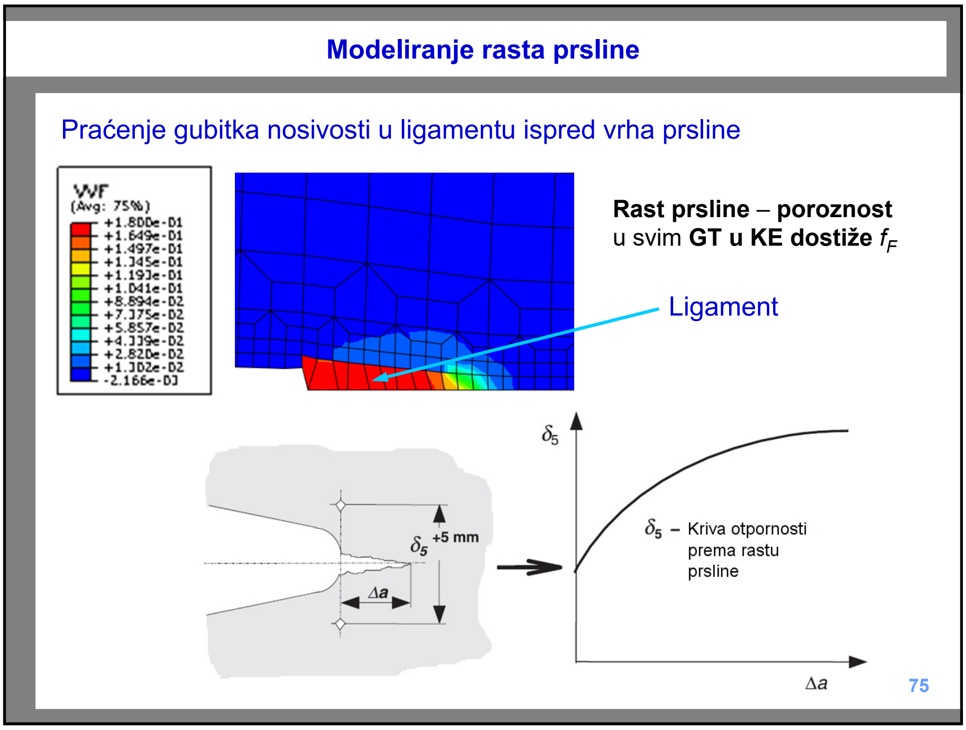
Na osnovu dobijenih rezultata, može se zaključiti da primenjeni model lokalnog pristupa (kompletni Gursonov model - CGM) može na odgovarajući način da opiše razvoj oštećenja u ispitivanim strukturama.

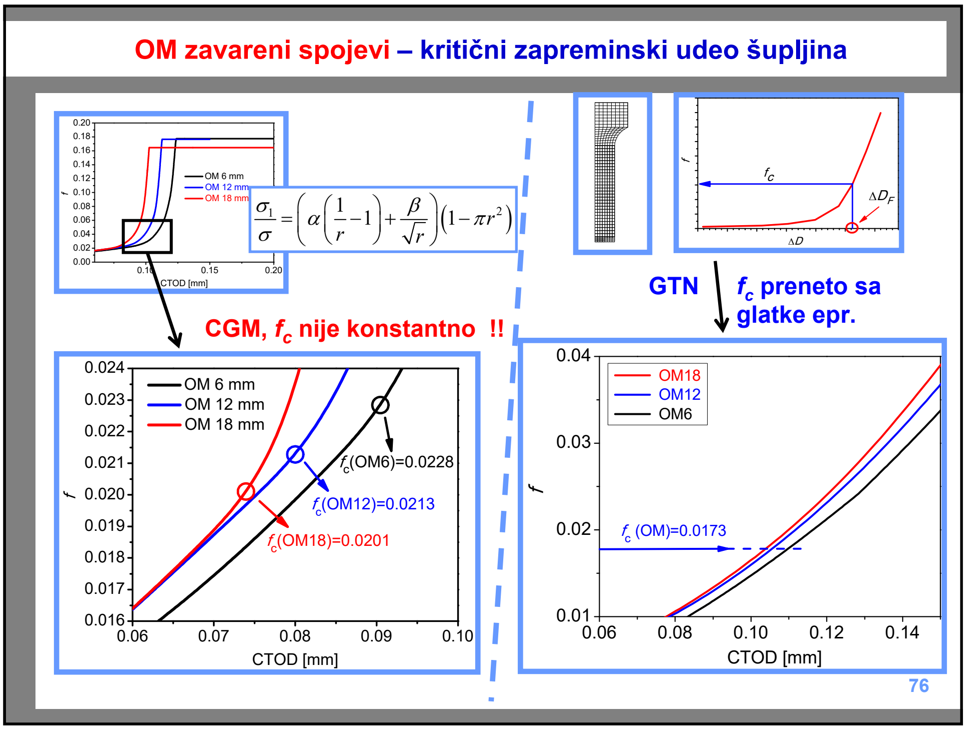
73





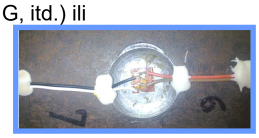
74


Modeliranje rasta prsline
Praćenje gubitka nosivosti u ligamentu ispred vrha prsline
VVF
(Avg: 75%)
+1.800e-01
+1.649e-01
+1.497e-01
+1.345e-01
+1.193e-01
+1.041e-01
+8.894e-02
+7.375e-02
+5.857e-02
+4.339e-02
+2.820e-02
+1.302e-02
-2.166e-03
Rast prsline – poroznost
u svim GT u KE dostiže f_F
Ligament
δ_5
+5 mm
Δa
δ_5 – Kriva otpornosti prema rastu prsline
Δa
75

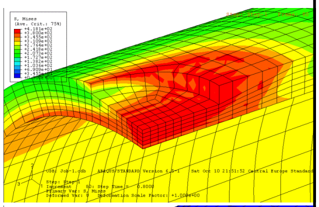

OM zavareni spojevi – kritični zapreminski udeo šupljina
OM 6 mm
OM 12 mm
OM 18 mm
CTOD [mm]
$\frac{\sigma_1}{\sigma} = \left(\alpha\left(\frac{1}{r}-1\right)+\frac{\beta}{\sqrt{r}}\right)\left(1-\pi r^2\right)$
f_c
ΔD_F
ΔD
GTN
f_c preneto sa glatke epr.
CGM, f_c nije konstantno !!
f_c(OM6)=0.0228
f_c(OM12)=0.0213
f_c(OM18)=0.0201
CTOD [mm]
OM18
OM12
OM6
f_c (OM)=0.0173
CTOD [mm]
76

Integritet cevovoda sa simuliranim korozionim oštećenjima

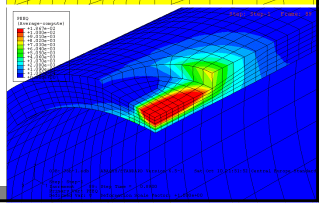
- Simulirana koroziona oštećenja – žlebovi izrađeni mašinskom obradom
  (primer geometrije sa koncentratorom napona koji nije tipa prsline
- Rešenja iz literature:
  - analitički/eksperimentalno zasnovana rešenja (ASME B31G, itd.) ili
  - elasto-plastična MKE analiza
    - **Napon** u ligamentu
    - Kriterijum **zavisi** od oblika oštećenja
    - **Oštećenje** se ne uzima u obzir



Ekvivalentni von Misesov napon



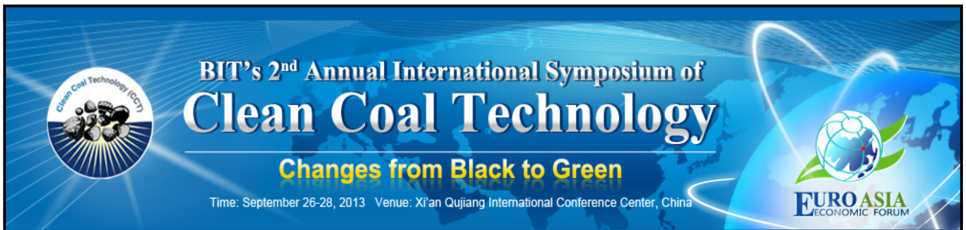
Ekvivalentna plastična deformacija



NOVA ENERGETSKA POLITIKA U HIDROBIZNISU
Ispitivanje i rekonstrukcija velikih hidroelektrana

Prof. Dr Aleksandar **Gajic**, red. član AINS

- Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, Beograd, Srbija,
- agajic@mas.bg.ac.rs
- agajicprof@gmail.com



New Energy Policy in Hydro Business
Reconstruction of the Large Hydropower Plants

Prof. dr Aleksandar Gajić
University of Belgrade,
Faculty of Mechanical Engineering,
11000 Belgrade, Kraljice Marije 16, Serbia
E-mail: agajic@mas.bg.ac.rs

November 13-15, 2013

Pumped and Hydro Storage Reduce Electricity Costs, Clean Environment and Keep Wind and Solar Unpolluted

New Energy Policy in Hydro Business

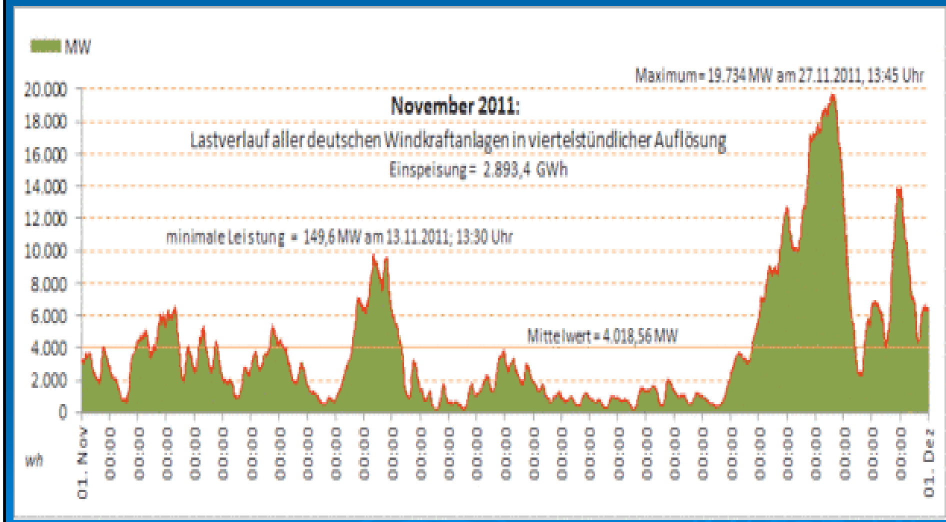
- New energy policy is caused by narrow range of operation of Thermal Power Plants, potential risks of Nuclear Power Plants, limited resources of oil, gas and coal, and new trends in ecology. Taking into account that renewable energy, solar and wind powers particularly are very dependant of the climate, Hydro Power takes a new role in energy systems.

New Energy Policy
New Role of Hydro Power Plants

- Because of that main goal in HPP
- is not the energy production but the **power output !**
- Main requirements in reconstruction of units are increase power output and efficiency, with the improvement of its safety, availability and reliability.

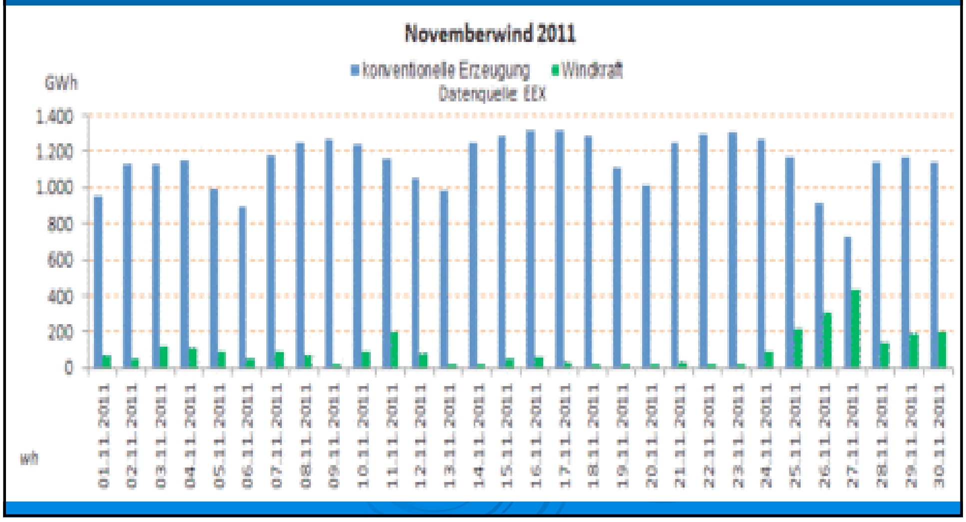
Germany's Energy Supply Transformation Has Already Failed

EIKE Europäisches Institut für Klima und Energie e.V.



November 2011: Load curve depicting all of Germany's wind generators every 15 minutes (source: wilfriedheck.de)- **Generating energy with wind involves extreme fluctuations because it depends on the weather**

Conventional power generation and wind power during November 2011. Blue bars = conventional power, green bars = wind power

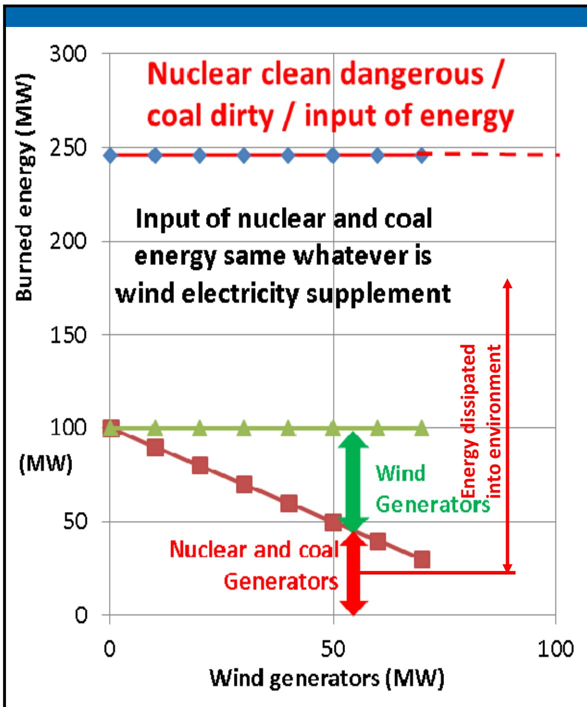


REZULTAT JE

- Porast snage iz vetroelektrana u 2013. g.
- U Nemačkoj 3238 MW
- U V. Britaniji 1883 MW
- U Poljskoj 894 MW
- U Rumuniji 695 MW
- Ali je u EU u 2013. g. instalirano za 7% manje kapaciteta nego u 2012. g.!!!

Main characteristics of the energy sources

- Wind is a clean and renewable energy source, it is one of the most rapidly growing sources of electricity.
- But, there are times of low wind or an absence of wind, when no energy is being produced.
- Oil and gas fired generators require 15 to 20 minutes to start if they are off-line.
- Clean hydro storages as balancing mechanisms for wind energy have been one of the best cleanest and environmentally friendly solution

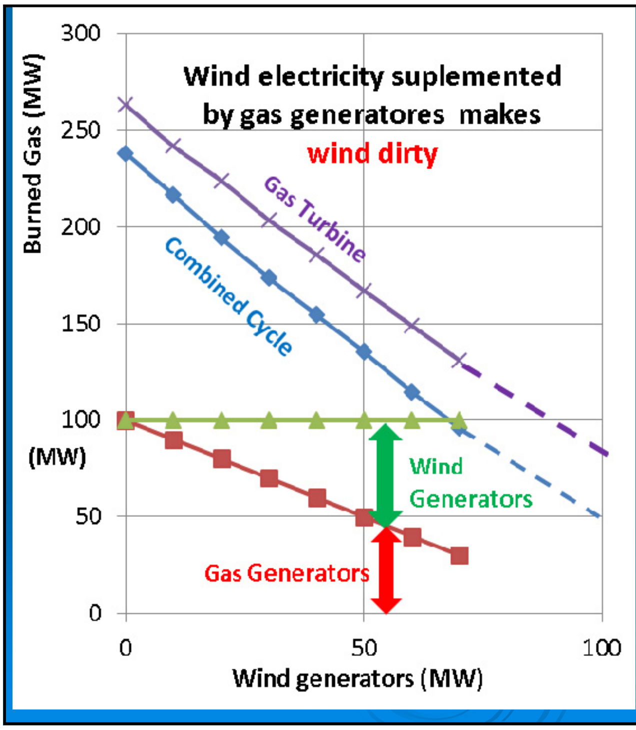


Nuclear and wind

Wind should not be combined with coal and nuclear plants if there is no hydro storage

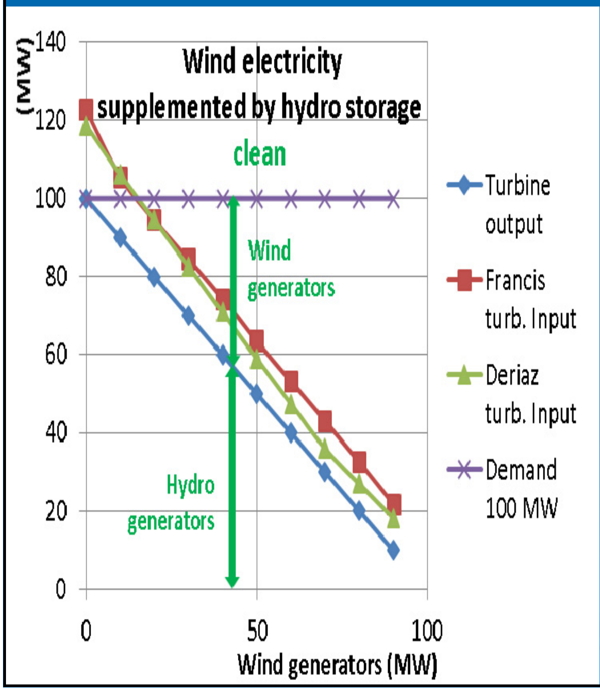
Nuclear and coal energy blown into air as steam

As heat could be used for other purpose as well



Gas and Wind generation

Natural gas generators contribute to climate change only slightly less than coal.



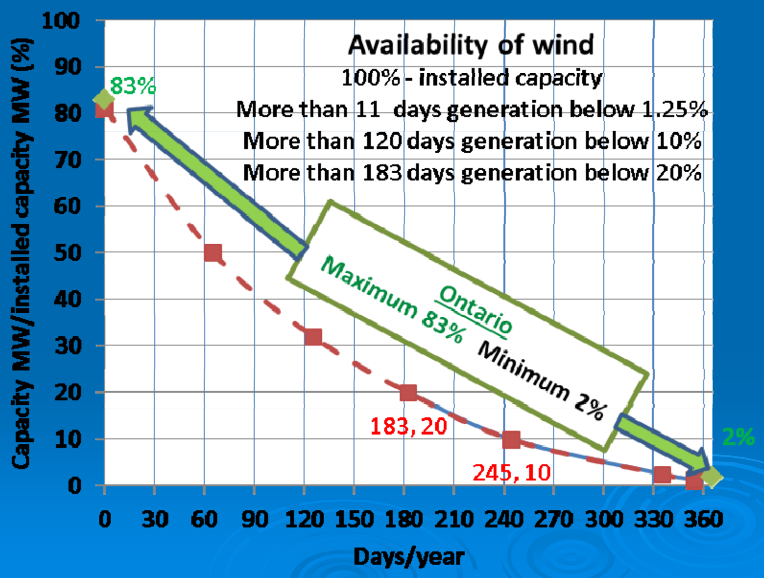
Hydro and Wind generation

Mixture of wind power with hydroelectric and pumped-storage is a key strategy to ensure an important and stable source of clean renewable electricity.

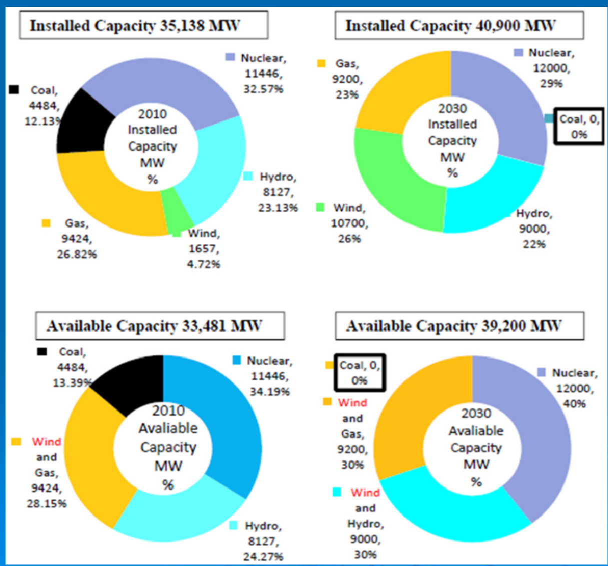
Few comments about Wind energy

- Assertions based on analysis of long term measured data of wind Power analyses in the United Kingdom in 2008 to 2010 include:
- Average output from wind was 24 – 27%
- At the four highest peak demand periods wind output was low, at respectively 4.7%, 5.5%, 2.6% and 2.5% of capacity
- Capacity below 20% occurred more than half the time
- Capacity below 2.5% occurred for one day in twelve.
- [Williams E., Dinorwig, the Electric Mountain, Public Relations, The National Grid Company plc, National Grid Hiuse, London SEI 9JU)]
- Analysis of wind in Ontario shows similar characteristics
- [Zandt D.V., Freeman L., Zhi G., Piwko R., Jordan G., Miller N., Brower M., Ontario Wind Integration Study, Ontario Power Authority (OPA), Independent Electricity System, Operator (IESO), Canadian Wind Energy Association (CanWEA), Final Report, EB-2007-0707, Exhibit D-5-1, Attachment 2]

Availability of wind days per year Ontario, Canada and GB



Projected installed and available capacities in 2010 and in 2030 in Ontario [IESO http://www.ieso.ca]



Hydropower Plants

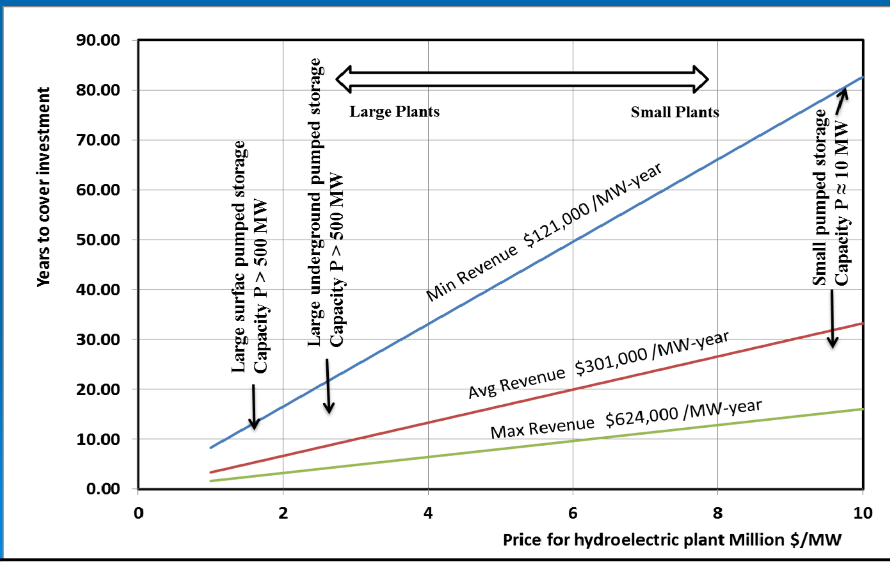
Blackouts and Troubles

- Pumped-storage and Hydropower plants can provide grid stability during contingencies and prevent blackouts. The cost of the North America 2003 blackout has exceeded $10 billions and caused 11 deaths.

Financing

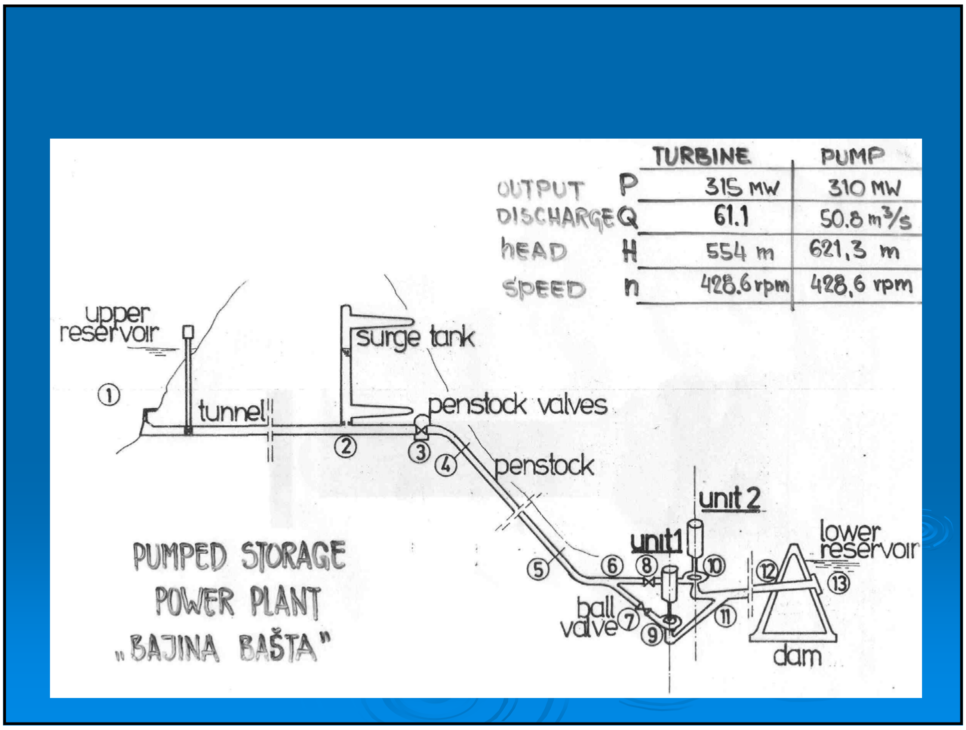
- Analyses indicate that there is a strong economic reason for pumped-storage installations.
- Many countries (including Switzerland, Germany, Austria and China) have already invested in pumped storages due to the predictable upgrade benefits.

Analysis based on the US market price data shows that large high-head underground pumped-storage plant could be paid off in 7 to10 years with average revenue.

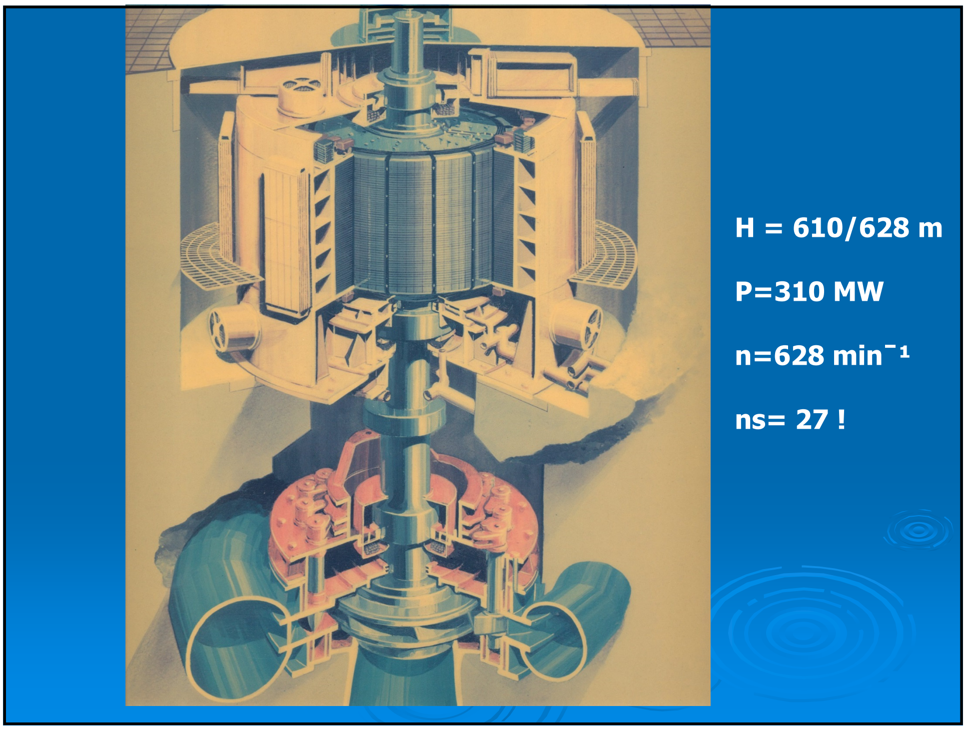


For the sake of better utilization of water power potential, the first in Europe pump turbine installed in reversible power plant in 1982.

PSPP "Bajina Basta" has 2 units, 307 MW each, 610m turbine head.
In that time they were the lowest specific speed pump-turbines in the world.



TURBINE
PUMP
OUTPUT P 315 MW 310 MW
DISCHARGE Q 61.1 50.8 m³/s
HEAD H 554 m 621,3 m
SPEED n 428.6 rpm 428,6 rpm
upper reservoir
surge tank
tunnel
penstock valves
penstock
unit 2
unit1
lower reservoir
ball valve
dam
PUMPED STORAGE
POWER PLANT
„BAJINA BAŠTA"

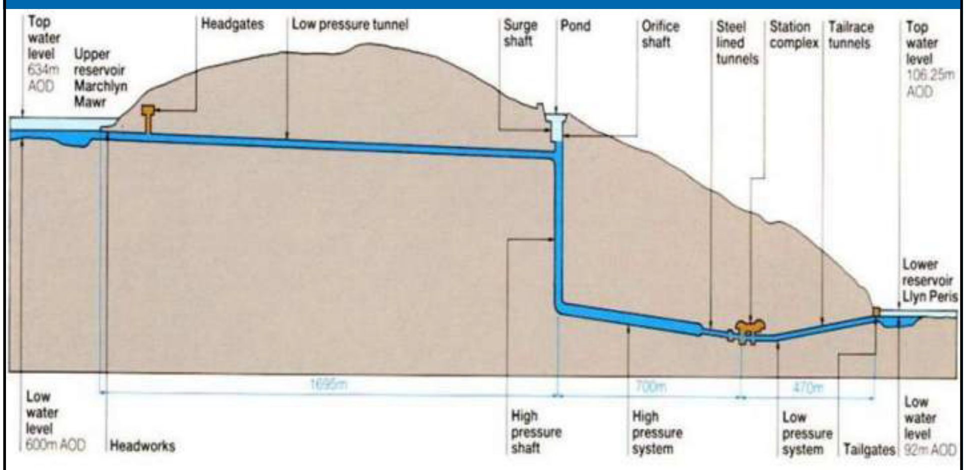


H = 610/628 m
P=310 MW
n=628 min⁻¹
ns= 27 !

Dinorwig
The largest pumped storage plant in Western Europe

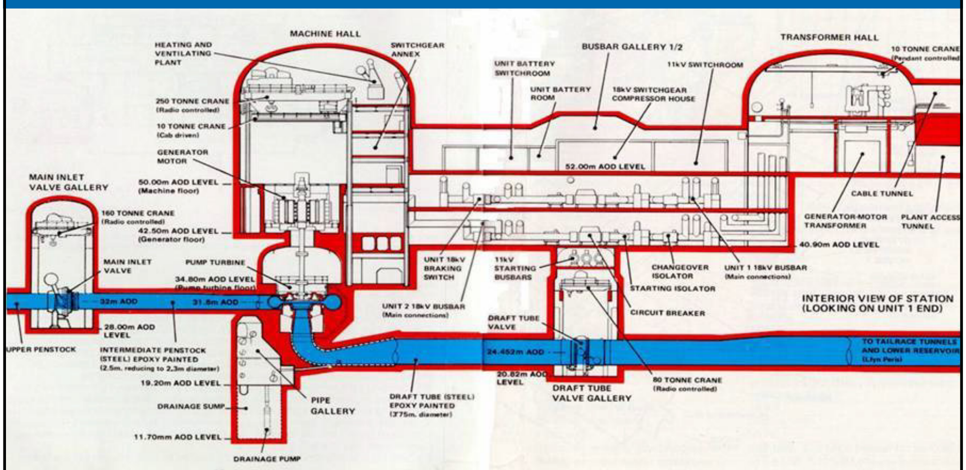
- •Commissioned in 1983
- •Total plant capacity 1,728 MW
- •6 reversible pump/turbines:
- ~each generating up to 288 MW and pumping at 275 MW
- ~capable of achieving full load from stand still in < 2 minutes
- ~capable of achieving full load from Spinning in < 20 seconds
- •Cycle Efficiency 74-75%
- •Total water storage capacity ~9 GWh (5/6 hours)
- •Connection to the National Grid via six 18/400kV 340 MVA transformers
- •Two 3.3kV 2 MW diesel generators provide ‘black start’ capability

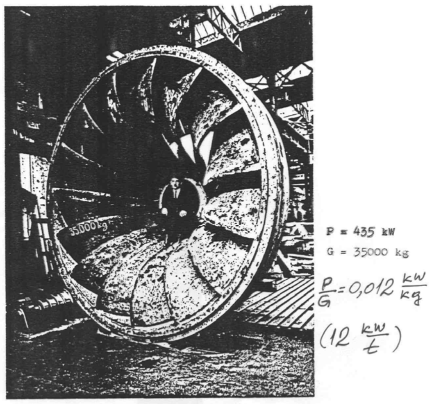
Dinorwig
Plant design profile

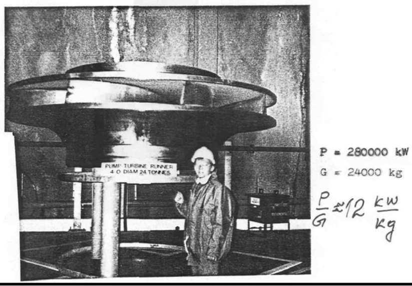


Dinorwig–inside the mountain

Dinorwig
Section of plant







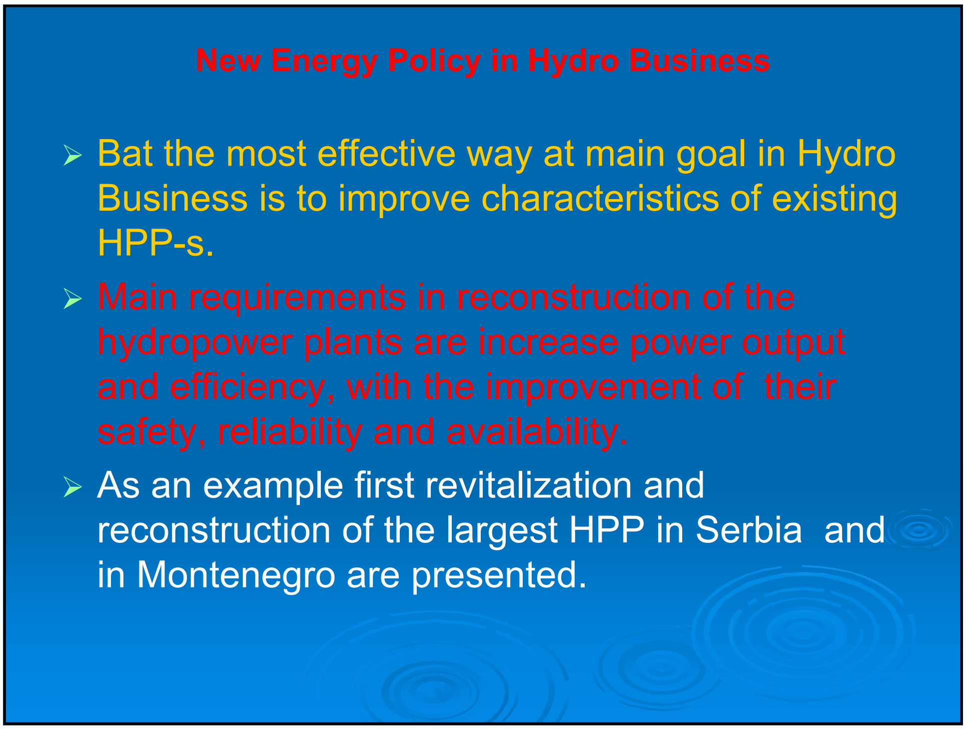
Škoda for Esher Wyss
1930

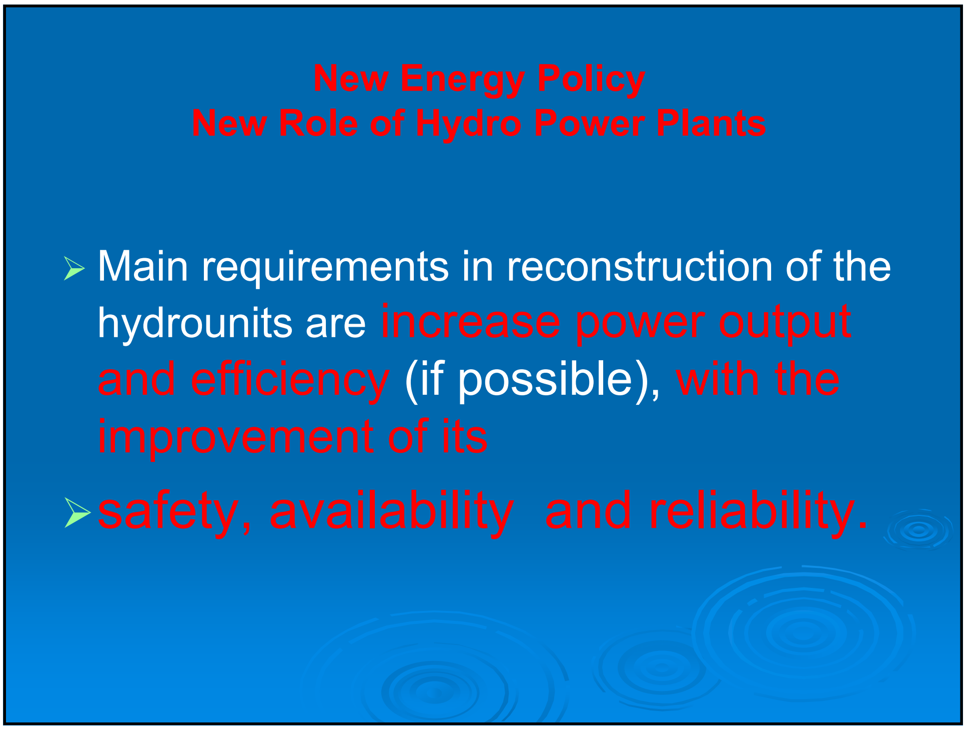
Dinorwig 1983

Latest Pumped Storage Hydro News, 2014-06-10 from www.hydroworld.com, 1-st page

- Indonesia seeks hydraulic metal works for 1,040-MW Upper Cisokan pumped-storage
- 06/06/2014 Indonesia utility PT PLN Persero invites applications for pre-qualification to supply hydraulic metal works for construction of the 1,040-MW Upper Cisokan pumped-storage hydroelectric project in Indonesia.
- Scottish Renewables calls for UK pumped-storage development
- 06/04/2014 European trade organization Scottish Renewables has announced a call for a new body intended to examine the potential of pumped-storage hydroelectric power within the United Kingdom.
- Study shows potential for pumped-storage hydropower project in Queensland
- 05/29/2014 A study released this week by Leyshon Resources Ltd. shows potential for an up to 40 MW pumped-storage hydroelectric plant at Mount Leyshon in Queensland.
- Philippines could get 1,200 MW of new hydroelectric power capacity
- 05/21/2014 Four new hydropower projects could give the Philippines more than 1,200 MW of additional capacity.
- NYPA recognized for efforts in controlling greenhouse gases
- 05/13/2014 The New York Power Authority has been recognized by the U.S. Environmental Protection Agency with a Climate Change Award for its efforts to control and monitor greenhouse gas.
- SMUD awards owner's engineer contracts for Iowa Hill pumped-storage project
- 05/07/2014 The Sacramento Municipal Utility District has selected a number of companies to provide owner's engineers services for its proposed 400-MW Iowa Hill pumped-storage hydroelectric plant.
- U.S. seeks firms to replace generator-motor stators at 600-MW Carters Dam
- 04/17/2014 The U.S. Army Corps of Engineers seeks information on firms able to manufacture replacement stator components at Carters Pumped-Storage facility, part of the 600-MW Carters Dam hydroelectric project in Georgia.
- NYPA releases annual report
- 04/16/2014 The 2013 Annual Report released by the New York Power Authority earlier this week reveals that the utility is in a strong financial position and a leading provider of low-cost electricity.
- New York Power Authority to relicense 1,160-MW pumped-storage hydro facility
- 04/11/2014 The New York Power Authority filed with the Federal Energy Regulatory Commission on April 10 a notice of a plan to seek a new license for the 1,160-MW Blenheim-Gilboa Pumped Storage Project.
- Canadian developer eyes Alberta pumped-storage hydropower projects
- 04/07/2014 Canadian company Turning Point Generation has announced its plan to develop an 80 MW to 150 MW pumped-storage hydropower project in Alberta.
- German utility seeks to upgrade pump-turbines, equipment at 1,050-MW Markersbach pumped-storage
- 03/27/2014 Vattenfall Europe Generation AG seeks bids for upgrade and repair of pump-turbines and other equipment of the 1,050-MW Markersbach pumped-storage project on Germany's Mittweida River.
- HRW Briefings
- 03/20/2014 News on the global hydroelectric industry from March-April 2014
- Illwerke selects Alstom to supply generators, exciters for Obervermuntwerk 2 pumped-storage project
- 03/18/2014 Vorarlberger Illwerke AG has awarded Alstom a contract to supply two generators and exciters for the Obervermuntwerk 2 pumped-storage hydropower plant in Montafon, Austria.
- Philippines' DOE approves 200-MW Aklan pumped-storage plant
- 03/13/2014 The Philippine Department of Energy has approved a proposal from the Strategic Power Development Corp. for a 200 MW pumped-storage hydropower project in Aklan.
- Developer files FERC application for pumped-storage/solar power project
- 02/26/2014 Green Energy Storage Corp. applied Feb. 24 at the Federal Energy Regulatory Commission for a preliminary permit for the proposed Sacaton Pumped-Storage Project in Arizona, which would include both hydroelectric and solar power elements.
- FERC cancels permit for 1,000-MW Don Pedro Pumped-Storage project
- 02/17/2014 The Federal Energy Regulatory Commission has canceled the preliminary permit of a Symbiotics LLC affiliate to study development of the 1,000-MW Don Pedro Pumped-Storage project on California's Tuolumne River.
- Hydro Holdings LLC completes acquisition of 11 hydropower projects
- 02/14/2014 FirstEnergy Corp. has completed the sale of 11 hydropower projects to Harbor Hydro Holdings LLC, the Ohio-based power distributor said.
- Scottish Power mulls expansion to Cruachan pumped-storage hydropower plant
- 02/13/2014 European utility Scottish Power is considering a major expansion of its 440-MW Ben Cruachan pumped-storage hydroelectric plant.
- Voith to outfit two Austrian pumped-storage hydropower projects
- 02/12/2014 Utility company Vorarlberger Illwerke AG has awarded contracts to Voith Hydro to equip two pumped-storage hydropower projects in Montafon, Austria.
- Swan Lake pumped-storage project still in development
- 02/06/2014 Development of the proposed 1,000-MW Swan Lake North pumped-storage hydropower project is moving forward and still on target for a 2020 completion date.

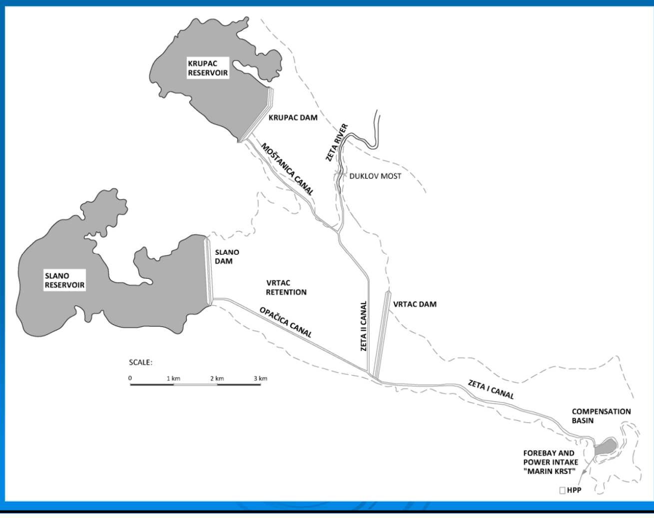
- Prev 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Next


New Energy Policy in Hydro Business
Bat the most effective way at main goal in Hydro Business is to improve characteristics of existing HPP-s.
Main requirements in reconstruction of the hydropower plants are increase power output and efficiency, with the improvement of their safety, reliability and availability.
As an example first revitalization and reconstruction of the largest HPP in Serbia and in Montenegro are presented.


New Energy Policy
New Role of Hydro Power Plants
Main requirements in reconstruction of the hydrounits are increase power output and efficiency (if possible), with the improvement of its
safety, availability and reliability.

Description of the system

- The HPP has been planned and designed as a high-head run-of-the-river hydropower plant, in combination with three upper storages and two channels.



HPP “PERUCICA”, MONTENEGRO, case II

- The Perućica HPP is located in the central part of Montenegro
- The system makes use of the energy potential of the Zeta River (catchment area 850 km²), gross head 550 m.
- The HPP has been designed for eight generating units, but only seven were constructed in the first phase, with a total installed capacity of 307 MW.

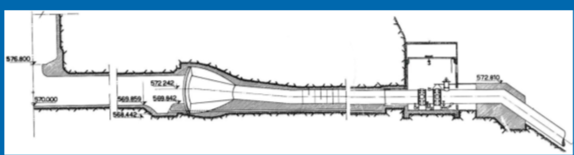
HPP “PERUCICA” MONTENEGRO

14 Pelton turbines 7 units P=245 (305) 360 MW

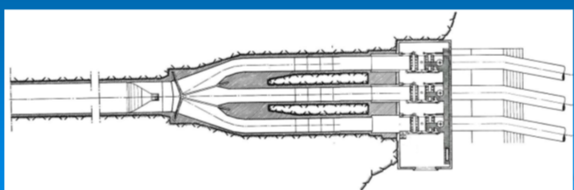
Penstock 1 Φ2.2-1.8 m, L=1851 m	**Penstock 2 Φ2.2-2.1 m, L=1833 m**	**Penstock 3 Φ2.65-2.5 m, L=1930 m**
Units 1, 2	**Units 3, 4,5**	**Units 6, 7**
Power 40 MW	**Power 40 MW**	**Power 55 MW**
Head 500- 530 m	**Head 500- 530 m**	**Head 500- 530 m**
Flow 9.5 m3/s	**Flow 9.5 m3/s**	**Flow 11.2 m3/s**
Rotational speed 375 1/min	**Rotational speed 375 1/min**	**Rotational speed 428 1/min**
Runner diameter 3100 mm	**Runner diameter 3100 mm**	**Runner diameter 2700 mm**

HPP “Perucica” Montenegro

Longitudinal section through the intake, headrace tunnel, surge tank and valve chamber.



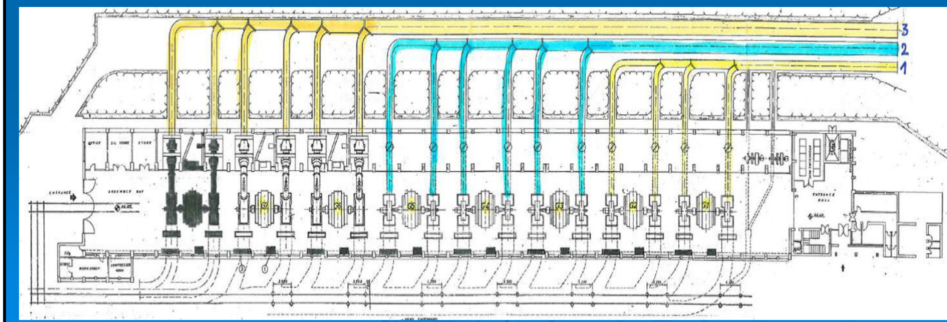
Longitudinal section through the surge tank, the lowest reach of the headrace tunnel, trifurcation, and valve chamber

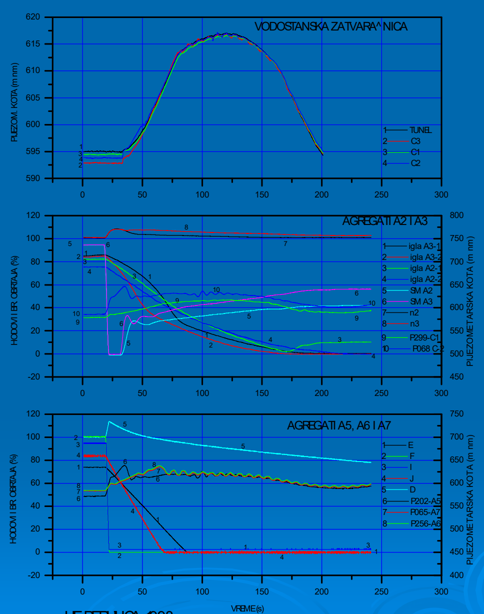


Plan view of the lowest reach of the headrace tunnel, trifurcation, valve chamber and penstocks.

Power house

- At the entrance to the powerhouse, the penstocks branch into manifolds for the generating units.
- All seven existing generating units consist of horizontal axis generators.
- The turbines are of the Pelton type, with two runners per generating unit, located on either side of the generator.
- Each turbine has a separate turbine pit and a short tailrace tunnel to the tailrace collector tunnel and from there a tailrace canal to the confluence with the Lower Zeta River.

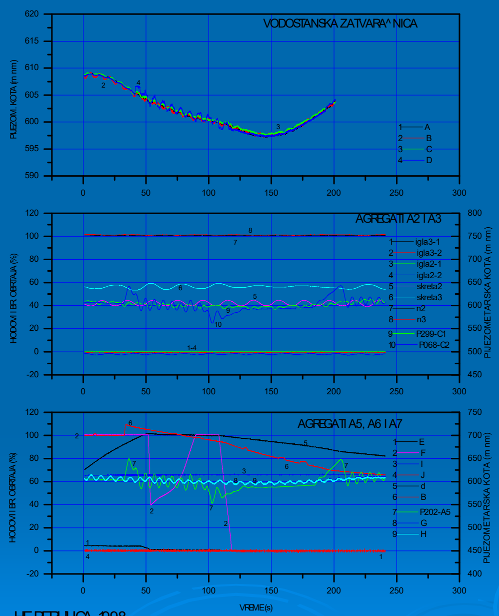




HE PERUĆICA, 1998.

ISPAD AGREGATA A1+A2+A3+A4+A5+A6+A7=256MW>0

After on-site Measurements from 1998 Power output was increased to 260 MW and later on even to 295 MW



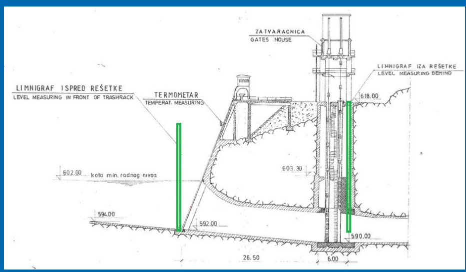
HE PERU] ICA, 1998.
ISPAD AGREGATA A5 = 21MW > 0

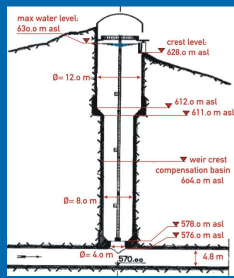
Load rejection of one unit from 21 MW produced higher stresses and pressures of 652 m than from Total output of 256 MW 645 m.

New Methodology and Measurement locations, 2010

- **Power intake**
  - Water levels upstream and downstream of the trash rack
  - Vortex formation at the entrance to the power intake
- **Surge tank**
  - Water level
- **Penstocks**
  - Pressures at the upstream ends of the penstocks, at the Povija valve chamber, and at the downstream ends of the penstocks, in the powerhouse.
  - Discharges
  - Displacement of Penstock 3 relative to the concrete block at two locations: near Foundation T5 and at the expansion joint of Foundation T8
  - Stresses at Penstock 3 manifolds and branches (both static and dynamic)
- **Generating units**
  - Pressures, needle and deflector positions, rotating speed/overspeed, power at the generator outlet and vibrations
- **Turbine pits**
  - Water levels in 4b and 6b turbine pits
- **Tailrace system**
  - Water levels in the tailrace system and clogging in the tailrace tunnel

Power intake and Surge tank





Water level measurement upstream of power intake.

Measurement of surge tank water levels by radar.

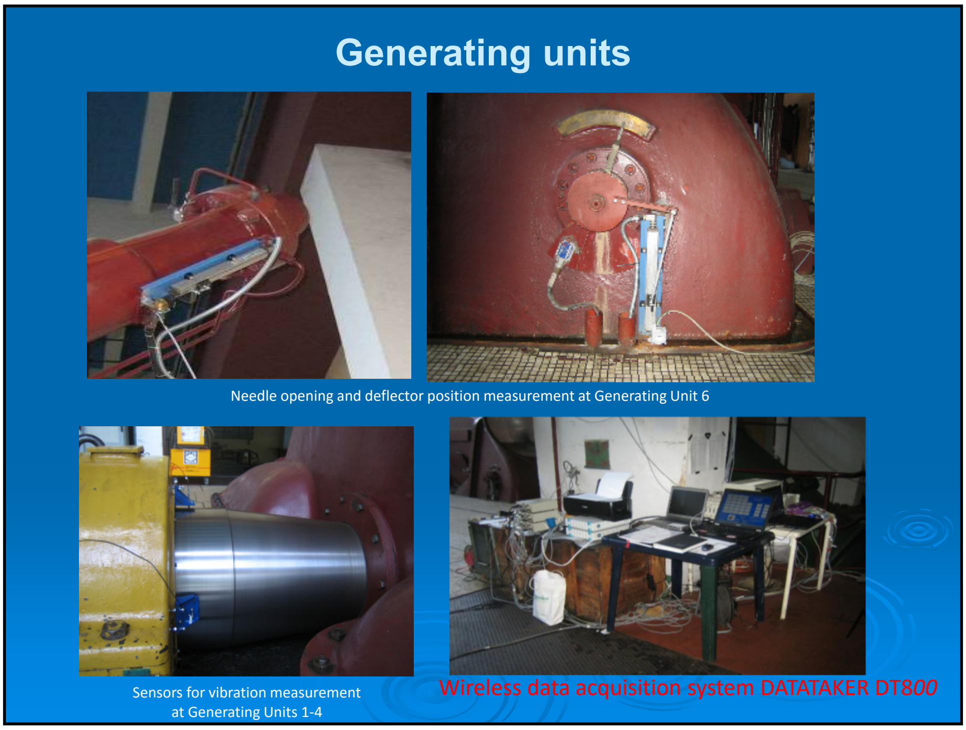
Valve chamber.

Deadweight tester in the valve chamber.

Pressure measurement at upstream end of penstock.

Penstock discharge measurement point.


Penstocks – displacement, stresses
Measurement of displacement in X, Y direction at T5.
Measurement of axial displacement at T8.
Measurement of stresses using 3-axial rosette gauges.
Measurement of stresses at Penstock 3.

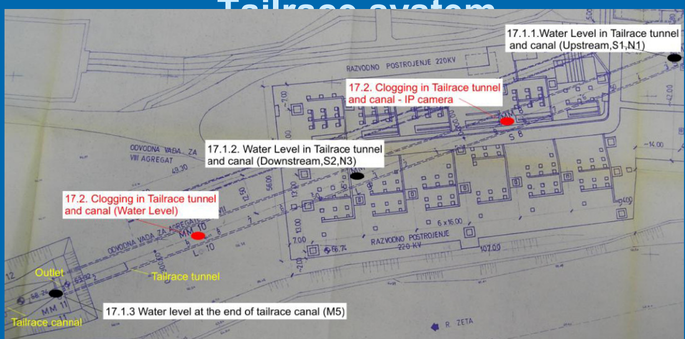

Generating units
Needle opening and deflector position measurement at Generating Unit 6
Sensors for vibration measurement
at Generating Units 1-4
Wireless data acquisition system DATATAKER DT800

Turbine pits

Water level measurement in turbine pit.

Installation of measurement equipment in turbine pit.

Tailrace system



Water level measurement point.

Measurement point for clogging.

Measurements overview

STEADY STATE MEASUREMENTS

Scenario	Date	Time	HPP power * (MW)	HPP power * (%)	Scenario description
S1	22.06.2010	10:00-12:00	260	85	Steady state
S2	22.06.2010	16:00-18:00	200	65	Steady state
S3	22.06.2010	18:00-20:00	280	91	Steady state
S4	24.06.2010	11:00-13:00	280	91	Steady state
S5	24.06.2010	13:00-15:00	290	94	Steady state
S6	24.06.2010	18:00-20:00	307	100	Steady state

UNSTEADY STATE MEASUREMENTS

Scenario	Date	Time	HPP power * (MW)		HPP power * (%)		Scenario description
			start	end	start	end	
U1	24.06.2010	20:00	305	140	99	47	Normal power decrease
U2	25.06.2010	15:00	266	305	87	99	Normal power increase
U3	25.06.2010	16:00	235	305	77	99	Normal power increase
U4	25.06.2010	17:00	195	305	64	99	Normal power increase
U5	25.06.2010	17:30	305	235	99	77	Normal power decrease
U6	26.06.2010	11:30	245	0	80	0	Quick shutdown
U7	26.06.2010	14:00	285	0	93	0	Quick shutdown
U8	26.06.2010	16:30	305	0	99	0	Quick shutdown
U9	26.06.2010	18:00	80	0	26	0	Quick shutdown

Measurement results

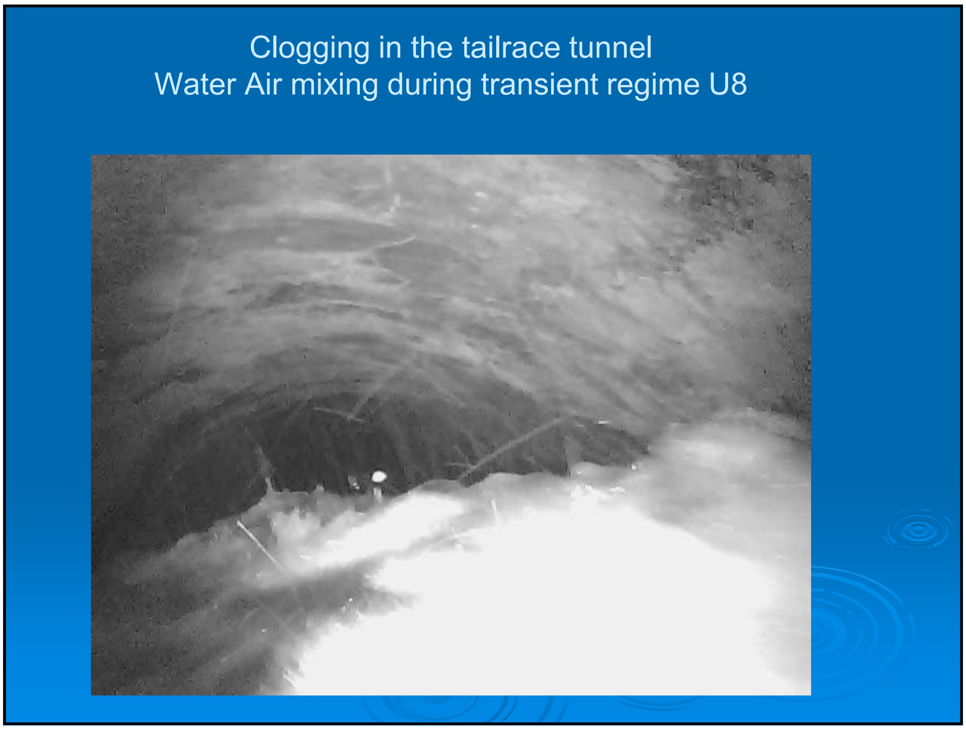
- During the measurement campaign, the water level in the compensation basin did not descend below 603 m a.s.l. (critical level for air suction).
- Under such conditions, the system functioned relatively well in all regimes.
- No problem was observed at:
  - Water level fluctuations in the surge tank
  - Pressure fluctuations in the valve chamber
  - Pressures in the penstocks
  - Displacements of Penstock 3
  - The tailrace tunnel functioned as a conduit with a free water surface, without any air pockets or clogging.

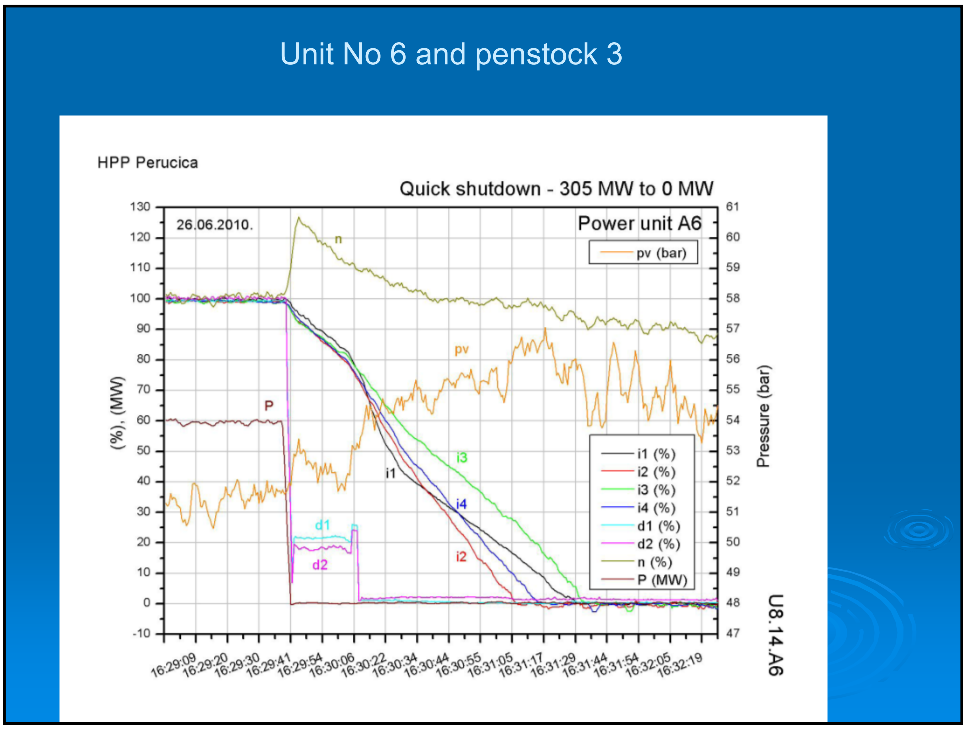
within tolerable limits

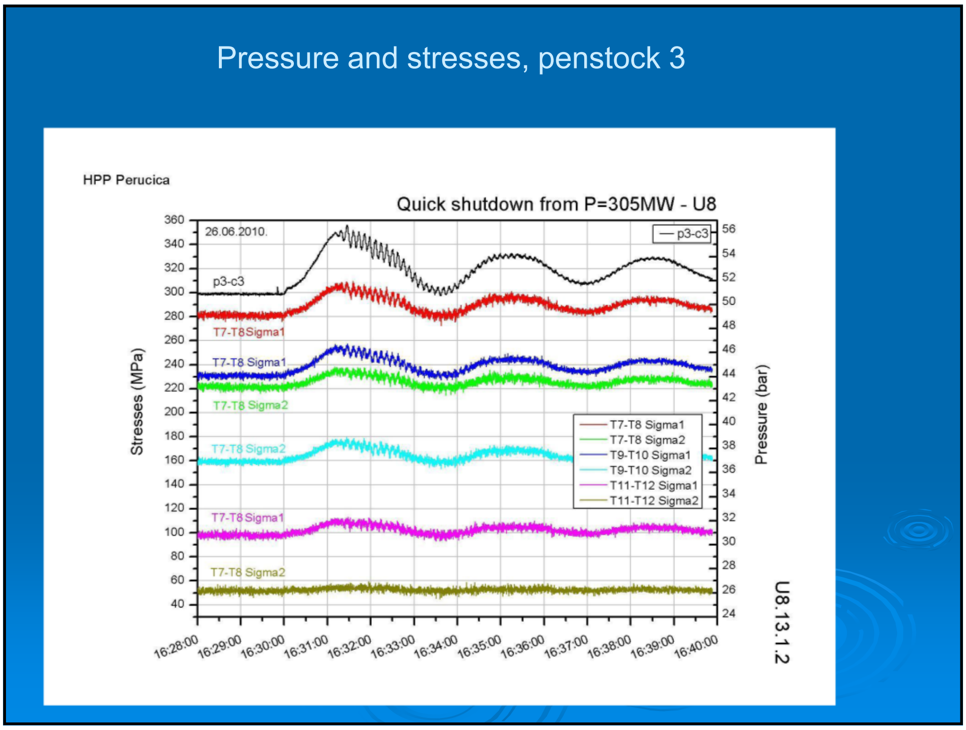
- But, attention needs to be made at:
  - Stresses at Penstock 3 manifolds and branches
  - Generating units - rotating speed/overspeed
  - Generating units - vibrations
  - Turbine pits – significant pressure fluctuations

above the allowed limits!


Vortex formation in front of the trash rack

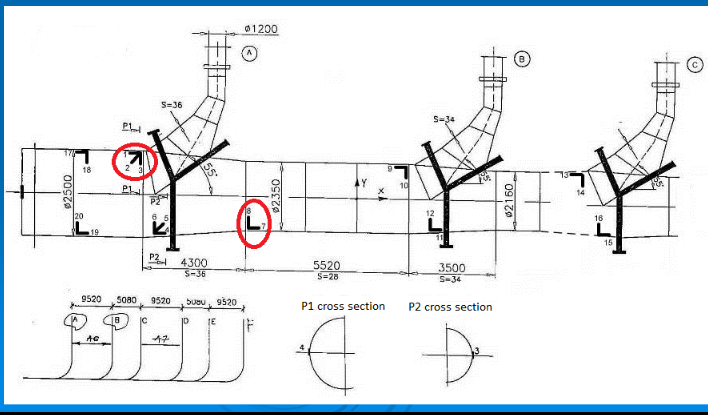

Clogging in the tailrace tunnel
Water Air mixing during transient regime U8


Unit No 6 and penstock 3
HPP Perucica
Quick shutdown - 305 MW to 0 MW
26.06.2010.
Power unit A6
pv (bar)
i1 (%)
i2 (%)
i3 (%)
i4 (%)
d1 (%)
d2 (%)
n (%)
P (MW)
(%), (MW)
Pressure (bar)
U8.14.A6


Pressure and stresses, penstock 3
HPP Perucica
Quick shutdown from P=305MW - U8
26.06.2010.
p3-c3
T7-T8 Sigma1
T7-T8 Sigma2
T9-T10 Sigma1
T9-T10 Sigma2
T11-T12 Sigma1
T11-T12 Sigma2
Stresses (MPa)
Pressure (bar)
U8.13.1.2

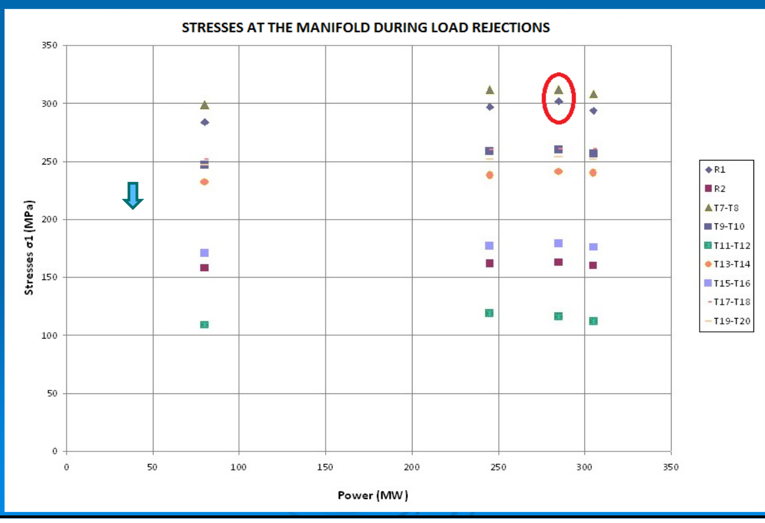
Stresses at Penstock 3 manifold and branches

- The maximal stresses were measured at points:
  - T7-T8:
    - $\sigma_{1,st}$ =294 MPa (steady state regime at the power of 200 MW)
    - $\sigma_{1,max}$ = 302 MPa (quick shutdown from the power of 285 MW)
  - R1 (T1-T2-T3):
    - $\sigma_{1,st}$ = 284 MPa (steady state regime of HPP at the power of 280 MW)
    - $\sigma_{1,max}$ = 312 MPa (quick shutdown from the power of 285 MW)



Stresses at Penstock 3 manifold and branches

- The maximum stresses were observed (already) during the quick shutdown from the power of 285 MW!
- Almost the equal values (299 MPa at T7-T8) were observed during the quick shutdown from the power of 80 MW



Measurement results

Generating units - rotating speed/overspeed

- Transient turbine overspeed:
  - Generating unit 6: Δn= 132% **above the allowed limit (125%)!**
    - It will be necessary to reduce the deflector closing time.
  - Generating units: 5 (Δn= 122.8%) and 7 (Δn= 126%)
- In order to synchronize the operation of the units, it is necessary to adjust the needle closing time to about 80 s, from a fully open to a fully closed position.
  - Generating units 3 and 5 - the closing time has to be extended
  - Generating unit 6 – the closing time has to be shortened

Conclusions

- The measurement campaign was considered a success, as it provided valuable information with regard to the data required for both:
  - calibration of the mathematical model (Microsoft Office Access Database), and
  - insight into the operation of particular parts of the system.
- Regardless of the maximum power at which the HPP will operate, it is necessary to:
  - Keep the water levels upstream from the intake structure above the critical level of 603 m a.s.l.
  - Clean the trash rack regularly.
  - Resolve the problem of insufficient strain capacity of the Penstock 3 bifurcation, which is equally jeopardized even at an output of 285 MW.
  - Calibrate the regulators of some turbines to ensure tolerable overspeed.

Main Conclusions

- Revitalization of the governing system allow increase of total power output from **245 (290)** to 30**5 MW !**
- Reconstruction of the HPP with installation of a new unit will increase power output to **360 MW !!**

HPP “Iron Gate 1”, 1972. god. was put in operation

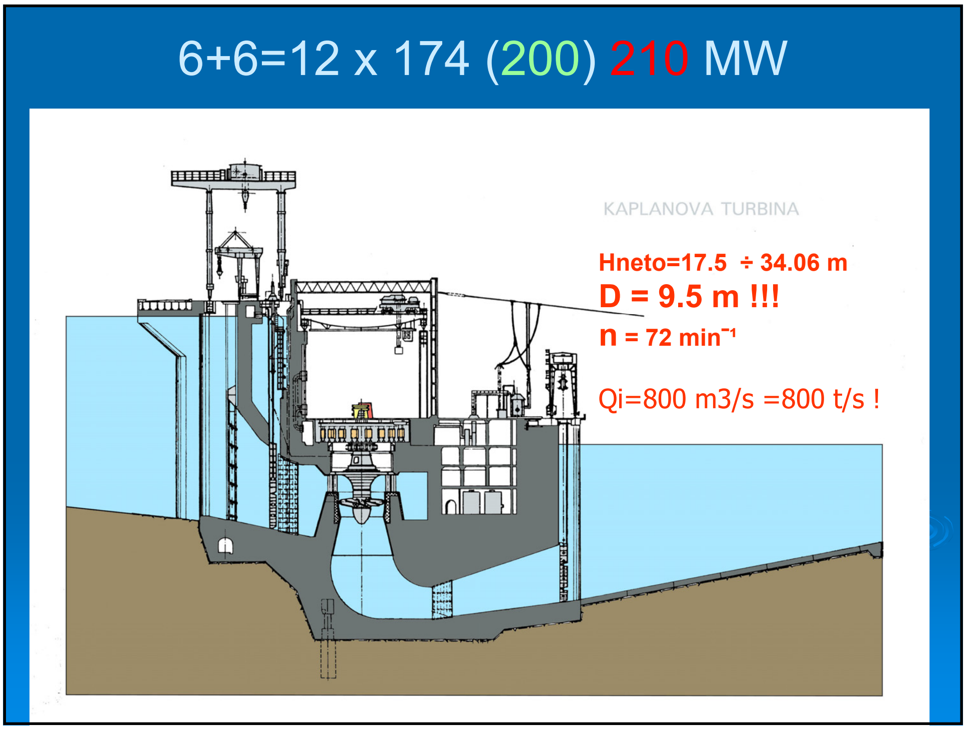
Revitalization and Reconstruction

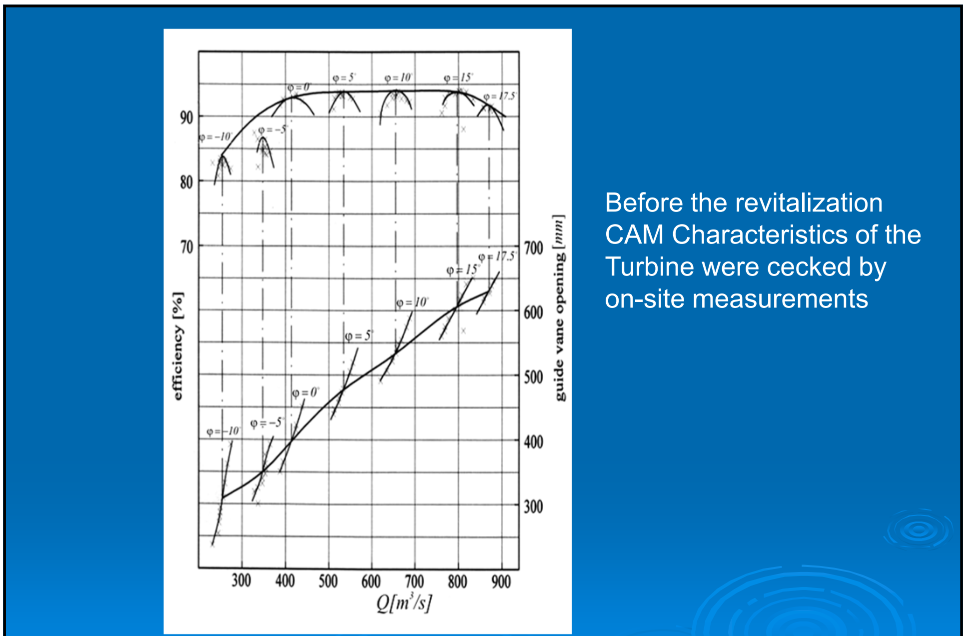
2004 – (2009) -2013 (?)

Q_i=725 (800)[840] m^3/s
P_i=178 (204) [210] MW

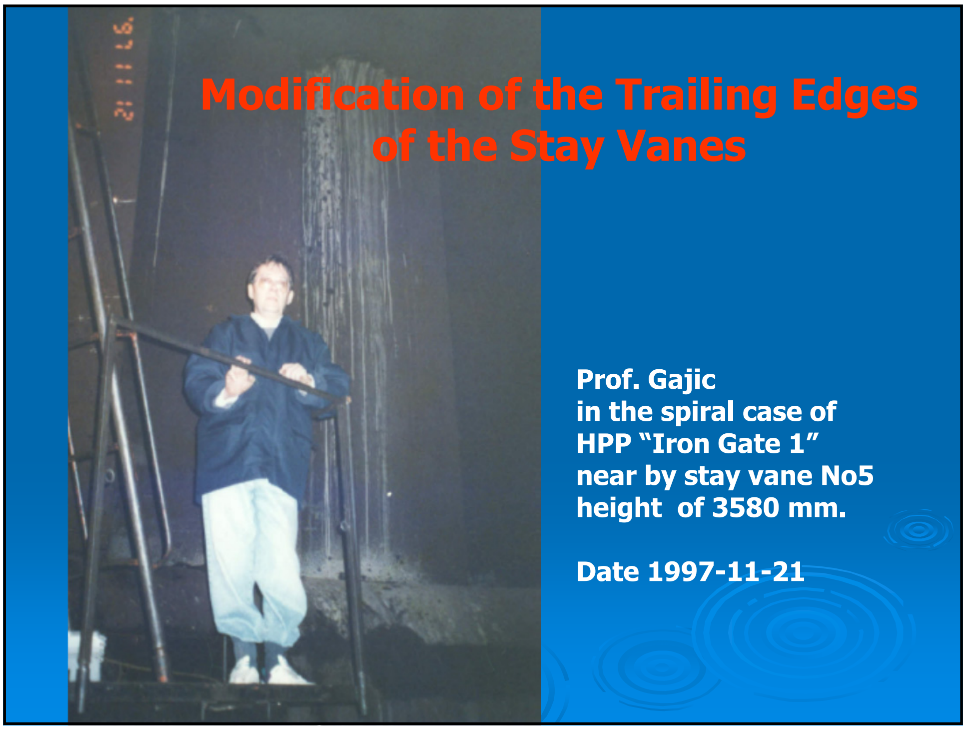
H_{neto}=17.5 ÷ 34.06 m

D = 9.5 m
n=72 min^{-1}
M=1100 t



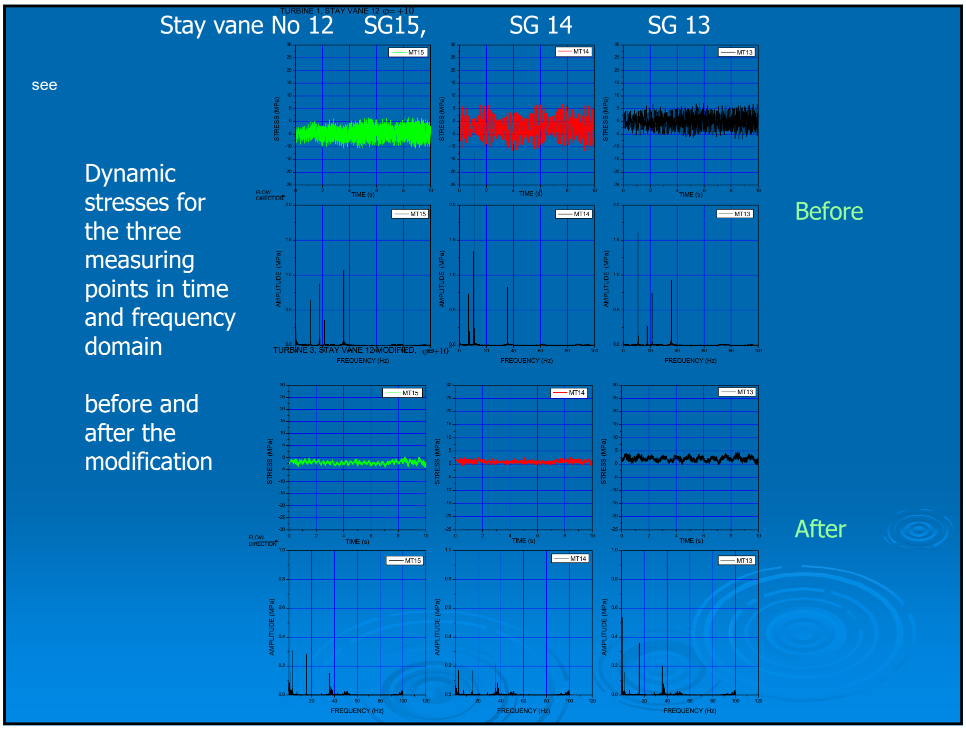


Efficiencies at broken-off combination with envelope curve defining optimal values (Unit 3) Hn = 27.8 m


Modification of the Trailing Edges
of the Stay Vanes
Prof. Gajic
in the spiral case of
HPP "Iron Gate 1"
near by stay vane No5
height of 3580 mm.
Date 1997-11-21


Stay vane No.1
not modificated


Stay vane No. 2
After modification


Stay vane No 12 SG15, SG 14 SG 13
see
Dynamic stresses for the three measuring points in time and frequency domain
before and after the modification
Before
After

TRANSIENT REGIMES
COMPUTED and MEASURED IN SITU

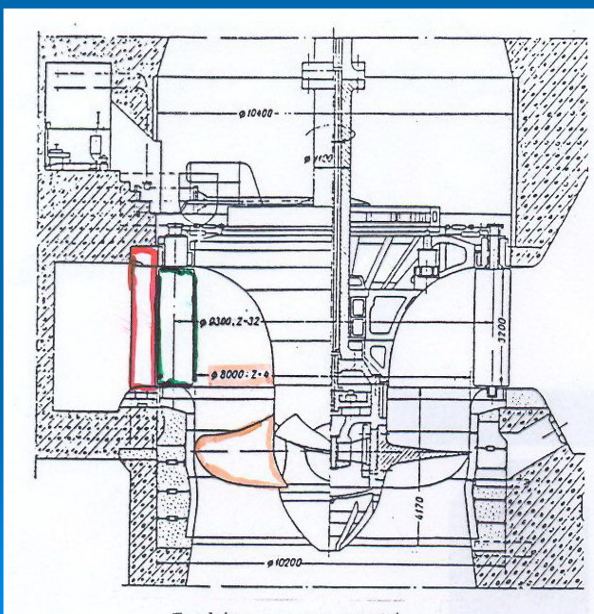
Pejovic S., Krsmanovic Lj., Gajic A., Obradovic D., Kaplan Turbine Incidents and Reverse Waterhammer, Water Power and Dam Construction, 1980, pp. 36-40.

Gajic A., Kaplan Turbine incidents due to Reverse Waterhammer and Mathematical Model Conirmed by the Field Tests, Invited paper, Int. Symp. On Aerospace and Fluid Science, Sendai 1993,pp.741-766

Gajic A., Pejovic S., Ivljanin B., Reverse Waterhammer - Case Studies, Proceedings of the International Conference on CSHS03, Belgrade, 2003

Gajic ‹#›

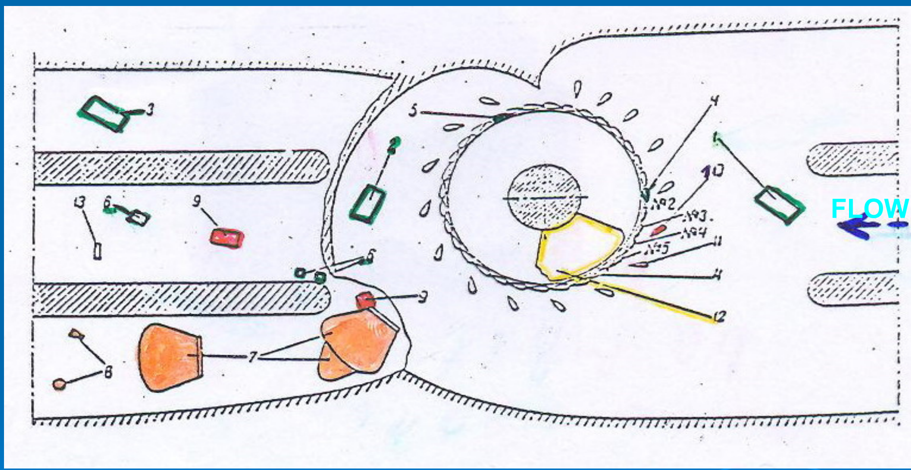
HPP "KAHOVSKAJA"



Turbine cross section

Power or rotation	51.8 MW
Rated head	13.8 m
Speed of rotation	62.6 rpm
Runner diametar	8.0 m
Maximal output	58.5 MW
Head at max. output	16.5 m
Suction head	1.9 m

Layout of broken parts after accident



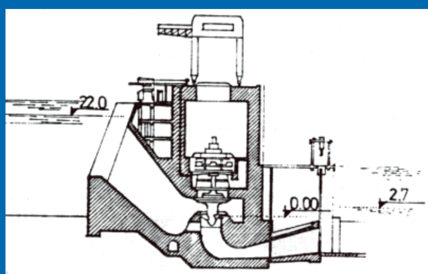
(1) (2) and (3) guide vanes; (4) damaged vane; (5) ckaked vane; (6) parts of guide vanes; (7) broken runner blades; (8) pins of runner blades; (9) stay vane; (10) damaged stay vane; (11) broken stay vane; (12) the blade that remained of the runner; (13) bolt

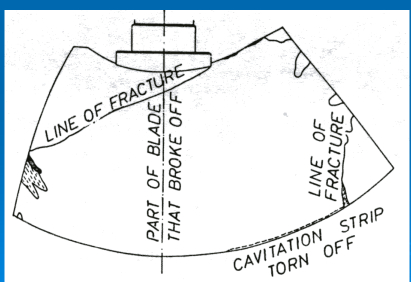
Kaplan turbine accident

Case 1. HPP "Zvornik" Serbia
Former Yugoslavia

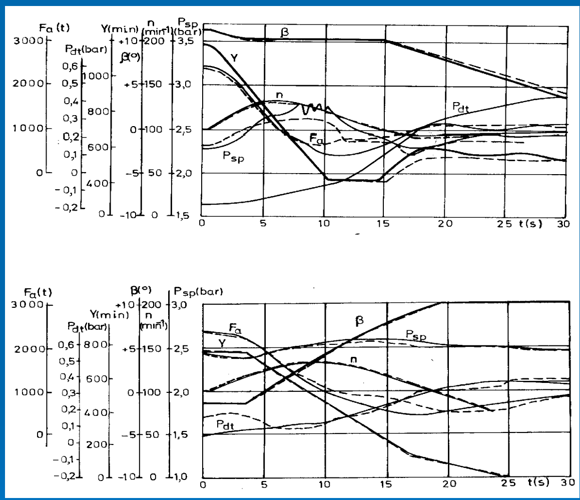
Runner blade broken

Power	22 MW
Head	19 m
Speed	150 rpm



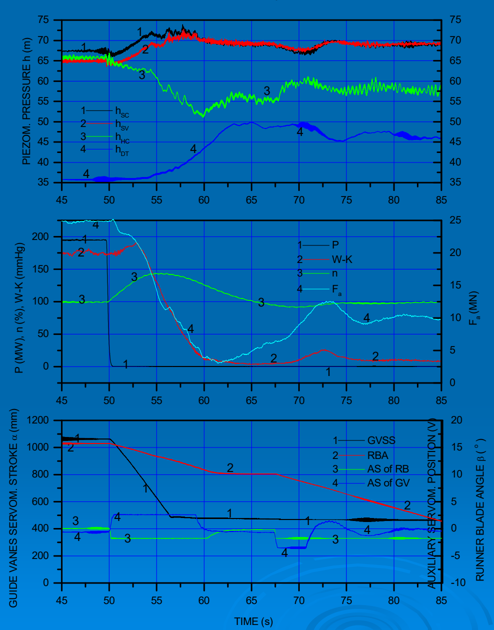


Gajic



HPP Iron Gate I: a) Load rejection from 160 MW to the idle run
b) quick closure and turbine stoppage from 90 MW.
Measured results _____ full lines,
Computed results -------- broken lines

LOAD REJECTION P_0=195 MW



One of the new on site measurements

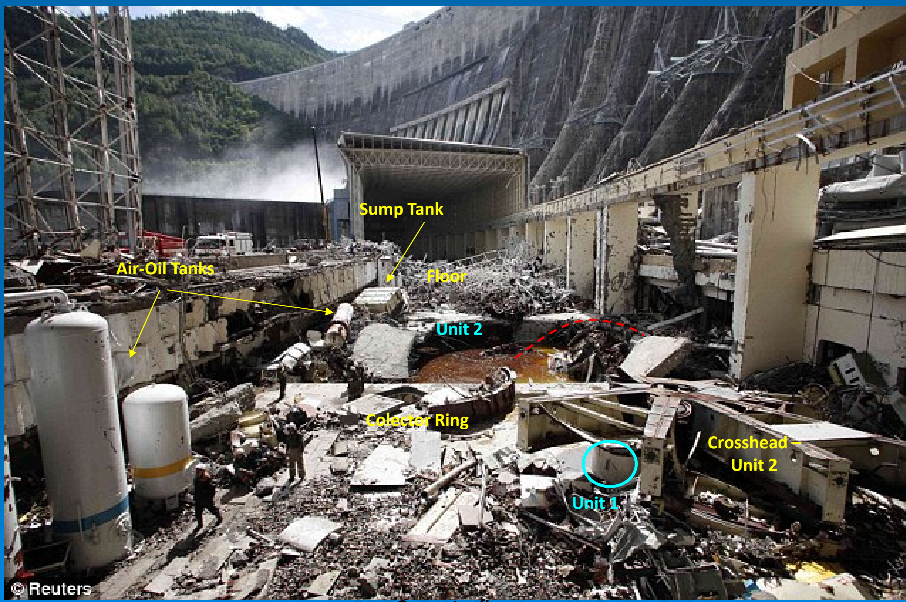
LOAD REJECTION FROM 195 MW

In Fig.(a) line 1 represents piezometric pressure in spiral casing - *h*SC (m), line 2 piezometric pressure behind the stay vanes –*h*SV(m), line 3 piezometric pressure on the turbine head cover *h*HC (m) and line 4 piezometric pressure in the draft tube – *h*DT (m).

Main unit characteristics are shown in Fig.(b) line 1 shows power output of the generator *P* (MW), line 2 differential pressure in spiral casing for discharge measurements (Winter Kennedy method) *W-K* (mmHg), line 3 represents relative rotational speed *n* (%) and line 4 axial thrust of the rotating parts *Fa* (MN). Servomotor strokes are shown in Fig. (c) line 1 shows servomotor stroke of the guide vanes - *GVSS* (mm), line 2 runner blade angle – *RBA* (0), line 3 position of auxiliary servomotor for the runner blades *ASRB* (mm) and line 4 position of auxiliary servomotor for the guide vanes *ASGV* (mm).

Sayano-Shushenskaya HPP – 2009 August 17

After the Accident



6/4/2010

Generator floor

Gajic

‹#›

Proceedings of the XXIst IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, September 9 - 12, 2002, Lausanne

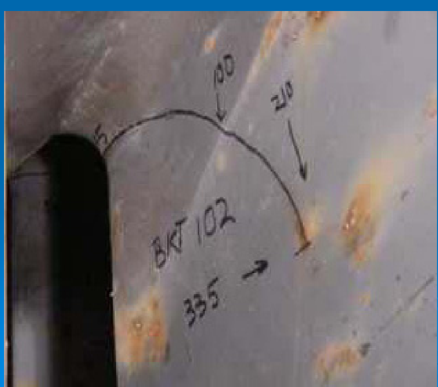
A CASE STUDY IN RESONANT HYDROELASTIC VIBRATION: THE CAUSES OF RUNNER CRACKS AND THE SOLUTIONS IMPLEMENTED FOR THE XIAOLANGDI HYDROELECTRIC PROJECT

- The XLD project is a multi purpose project built on the Yellow River in China. The head of the project varies from 68 meters minimum to 141 meters at its maximum. There are 6 turbine generators at the site rotating at 107.14 rpm designed to produce 330 MW each.

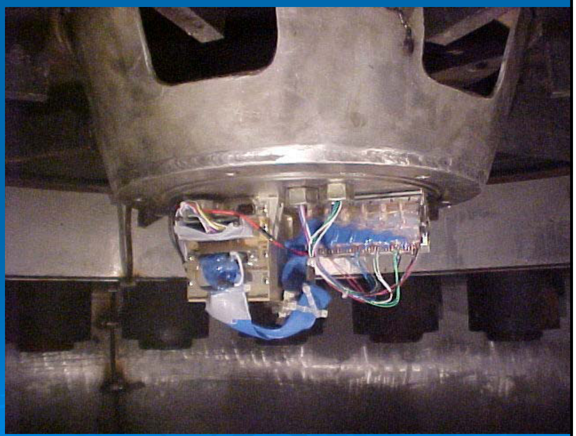
Xiao Lang Di project viewed from downstream of the dam.

Cracks on XLD turbine runner blades on Unit 6 at first inspection

- After approximately 1000 hours of operation at around 70 meters head, the first to operate turbine at the project was taken out of operation for a routine inspection.
- Cracks, about 300 mm long were found on all of the 13 Francis runner blades.



Strain gages being applied to runner discharge edge near crown (left) and strain gage data acquisition system mounted in runner cone below shaft centerline (right).



Acqission system

- Data was acquired for one start and the data storage buffer was filled.
- The machine was stopped to download the data, and then restarted to operate overnight at speed no load (SNL), unsynchronized to the grid so that the generator that had become damp because of the long down time during blade repair could be dried out prior to synchronizing to the grid and further operation.

Proceedings of the XXIst IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, September 9 - 12, 2002, Lausanne

STRESSES OF KAPLAN TURBINE RUNNER BLADE DURING TRANSIENTS

- Kaplan turbines in HPP “Djerdap I” have been in operation over 30 years and the start and volume of their refurbishment is very important.

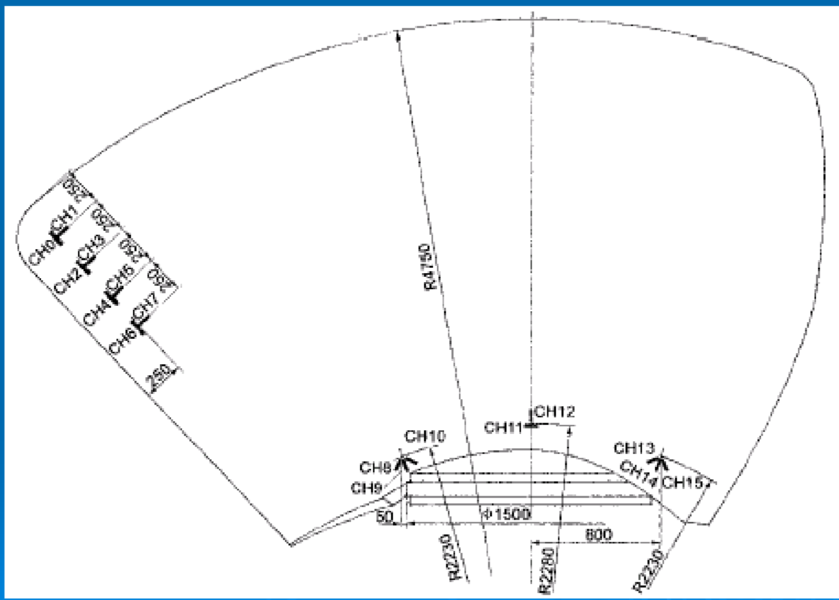
Calculation of consumed service life of blades can be made if the following is known:

-duration of turbine operation in reference steady and unsteady operating regimes, as well as the number of transient processes

- mean value of stresses and stress amplitudes in the most loaded blade areas under reference operating regimes;

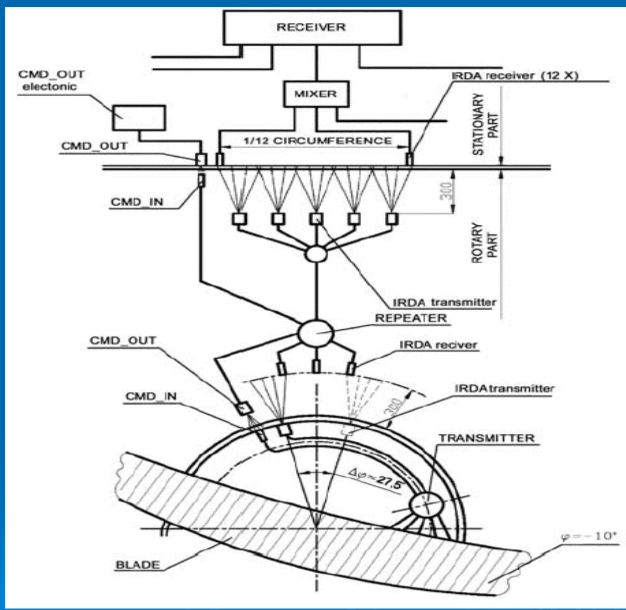
- fatigue properties (dynamic strength) of blades material obtained by tests in a corrosive environment (water flow) on samples that have dimensions corresponding to blade thickness under symmetric load cycle, with sufficient number of cycles till 1010; and

- volume of repair overlaying welds, i.e. volume of additionally inflicted material during the repair of cavitation and other damages which can result in reduction of service life.



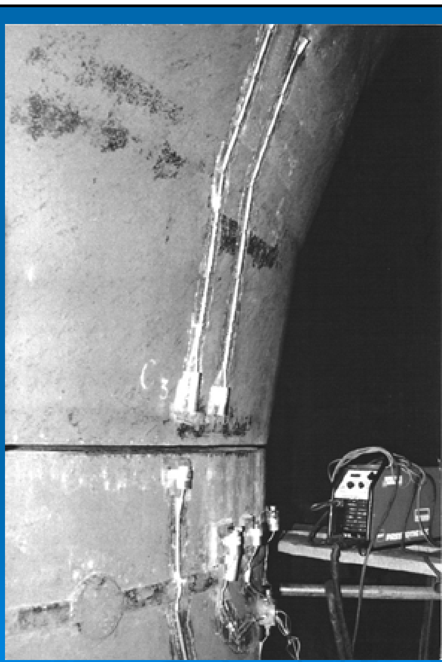
Layout of strain gauges on the runner blade

Transmission of digital measurement data through water was realised by an optical system with infra red light (660 nm). Due to runner rotation and blade angles changing during the operation optical system was divided in two parts, one from the data acquisition system on the runner blade to the transmitter on the runner hub and the other from the transmitter to stationary part of transmission system situated out of the turbine. Optical system was bi-directional with transmission of the command signal in one direction and transmission of digitised data in other direction.

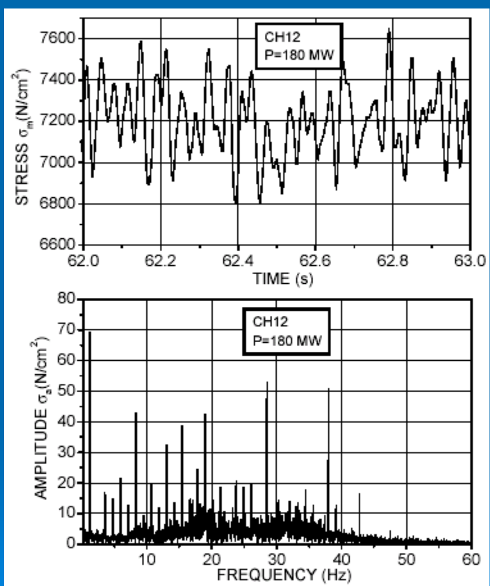


Scheme of measuring, data acquisition and data transmission

Capsule and transmitter installation on the blade

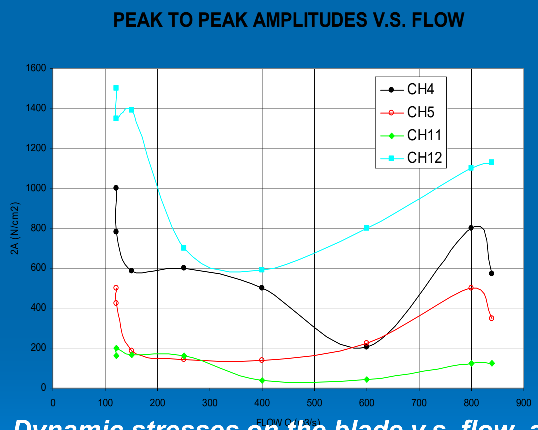


Optical sensors on the runner hub and inner head cover



As an illustration left Fig. shows measured signal and amplitude – frequency characteristics of dynamic stress on the measuring point MP12 (central radius) at 180 MW turbine power, 28.3m net head.

Measured signal in time and frequency domain



This diagram shows double amplitudes of dynamic stresses (peak-to-peak) at the same measuring points, 4,5,11,12 also in the function of discharge.

Dynamic stresses on the blade v.s. flow at 28.3 m net head

BLADE STRESS MEASURING RESULTS – TRANSIENT REGIMES

During a start-up, idle run, shutdown and load rejection the largest dynamic stresses were obtained, in the measuring point 12. The maximum obtained values of mean stresses and stress amplitude are given in Table 1.

Operation mode	Mean stress σ_m (N/cm^2)	Stress amplitude σ_a (N/cm^2)
Start-up	4800	550
Idle run	2200	600
Shutdown	-2500 ÷ 3000	600
Load rejection 180 MW	-2500 ÷ 2500	1350

CONCLUSIONS

The increase of tail water level, due to construction of the second stage of HPP “Iron Gate II”, allows an increase in the opening of the guide vanes and runner blades with no great changes the maximum values of runaways, axial hydraulic thrust and capacity of the governing system for which the turbine was designed.

It was determined that the value of mean stresses on the runner blade depends very little on the change of turbine output at the same net head.

An analysis of possibilities for power increase has shown that it is possible to increase the power output from 175 MW to 200 MW without reconstruction of the turbine.

CONCLUSIONS

- Obtained data about the consumed and residual service life of the runner blades enable the hydro-turbine user to define optimum term of the reconstruction.
- Reconstruction of 2 units with no change of external dimensions and with the same speed of revolution allow further increase of power output to 210MW per unit.


THANK YOU VERY MUCH !!!

Академија инжењерских наука Србије, 23.Априла 2014.

ЧОВЕК ПОД ВИБРАЦИЈАМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА-РЕШАВАЊЕ ПРОБЛЕМА

МИРОСЛАВ ДЕМИЋ

Академик Академије транспорта РФ
Академик Академије квалитета РФ
Редовни члан Академије инжењерских наука Србије,
редовни члан Научног друштва Србије и
Академик Евро-Медитеранске академије уметности и
наука

Човек под вибрацијама

- основни појмови

МЕХАНИЧКЕ ВИБРАЦИЈЕ КОЈИМА ЈЕ ЧОВЕК ИЗЛОЖЕН ТОКОМ СВОГ РАДНОГ И ЖИВОТНОГ ВЕКА ИЗАЗИВАЈУ ОШТЕЋЕЊА КОШТАНО-МИШИЋНОГ ТКИВА, ПРОФЕСИОНАЛНА ОБОЉЕЊА (Н ПР. ОШТЕЋЕЊА КИЧМЕНОГ СТУБА, "БЕЛЕ ПРСТЕ" И СЛ.).

ОНЕ СУ, ЈЕДИНО, КОРИСНЕ ТОКОМ НАДОКНАДЕ КАЛЦИЈУМА КОД КОСМОНАУТА ПОСЛЕ ДУЖЕГ БОРАВКА У БЕСТЕЖИНСКОМ СТАЊУ.

У ЗАВИСНОСТИ ОД МЕСТА ДЕЛОВАЊА РАЗЛИКУЈЕМО:

1. ВИБРАЦИЈЕ ЦЕЛОГ ТЕЛА (СЕДИШТЕ, ПОД И СЛ.) И
2. ЛОКАЛНЕ ВИБРАЦИЈЕ (РУКЕ, НОГЕ...).

МЕТОДЕ ЗА ИСТРАЖИВАЊЕ УТИЦАЈА ВИБРАЦИЈА НА ЧОВЕКА:

1. ОБЈЕКТИВНЕ (МЕДИЦИНСКЕ: ПРОМЕНА САСТАВА УРИНА, КРВИ, РЕАКЦИЈА И СЛ.) ТОКОМ ИЗЛАГАЊА ЧОВЕКА ВИБРАЦИЈАМА,

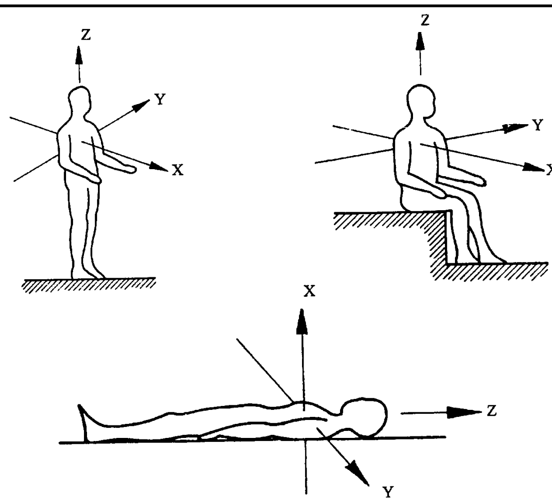
2. СУБЈЕКТИВНЕ (ИНЖЕЊЕРСКЕ),

3. КОМБИНОВАНЕ (ПОСМАТРАЊЕ УОБИЧАЈЕНИХ СВАКОДНЕВНИХ АКТИВНОСТИ ЧОВЕКА: ПЕШАЧЕЊЕ Н ПР.) И

4. ПРЕНОШЕЊЕ ВИБРАЦИЈА КРОЗ ТЕЛО.

МЕЂУНАРОДНА ОРГАНИЗАЦИЈА ЗА СТАНДАРДЕ (ISO) У ДУЖЕМ ВРЕМЕНСКОМ ПЕРИОДУ РАДИ НА ДЕФИНИСАЊУ КРИТЕРИЈУМА ИЗЛАГАЊА ВИБРАЦИЈАМА, ПРЕКО ТЕХНИЧКОГ КОМИТЕТА ISO TC108.

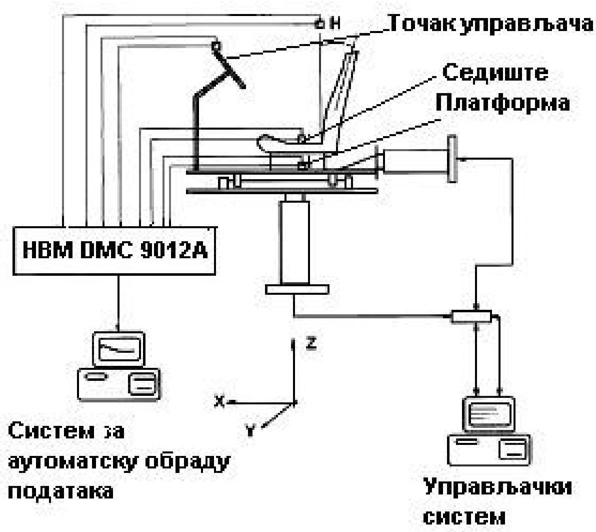
ЗБОГ ТОГА СЕ, РАДИ ИЛУСТРАЦИЈЕ, ДАЈЕ ПРИКАЗ КООРДИНАТНИХ СИСТЕМА КОЈЕ ПРЕПОРУЧУЈЕ ПОМЕНУТА ОРГАНИЗАЦИЈА.



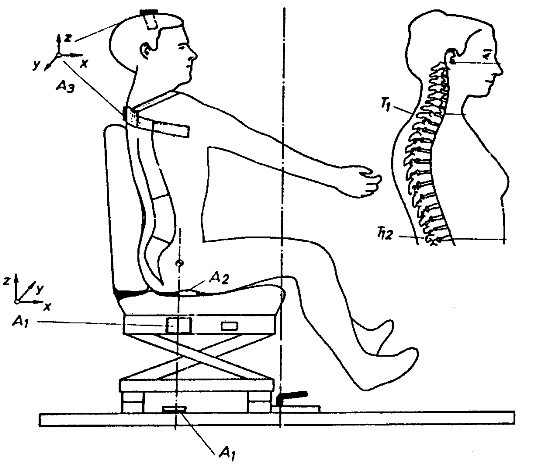
ИСО координатни
ситеми

ИСО, ПРЕТЕЖНО,
КОРИСТЕИ РЕЗУЛТАТЕ
ДОБИЈЕНЕ
ИНЖЕЊЕРСКИМ
МЕТОДАМА У
ЛАБОРАТОРИЈСКИМ
УСЛОВИМА-НА
ПУЛЗАТОРИМА.

Шема дво-осног пулзатора



Могући положаји давача убрзања на телу испитаника

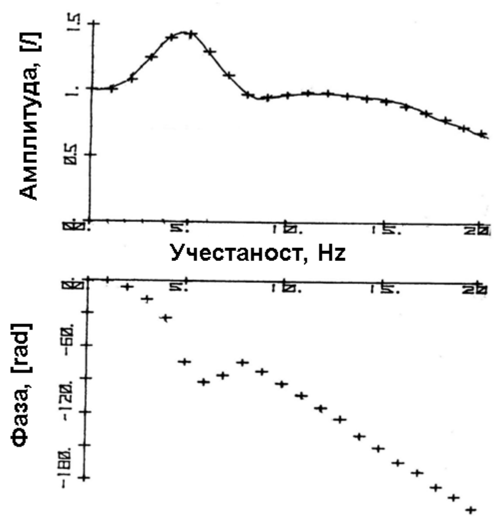


ПРЕНОШЕЊЕ ВИБРАЦИЈА КРОЗ ЧОВЕКОВО ТЕЛО

$$Пренос(j\omega) = \frac{Излаз(j\omega)}{Улаз(j\omega)}$$

$$Амплитуда(j\omega) = \sqrt{\mathrm{Re}(Пренос(j\omega))^2 + \mathrm{Im}(Пренос(j\omega))^2}$$

$$Фаза(j\omega) = Arctg\frac{\mathrm{Im}(Пренос(j\omega))}{\mathrm{Re}(Пренос(j\omega))}$$



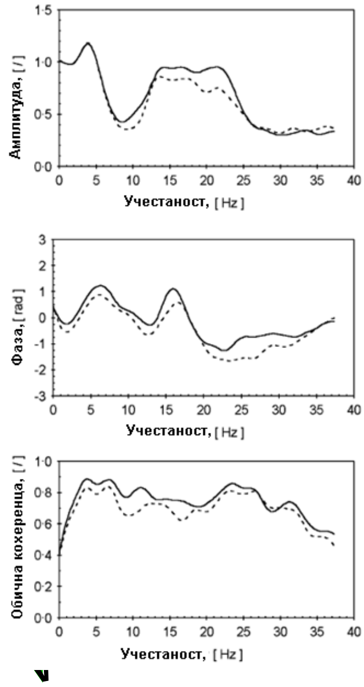
Преносна функција човековог тела

Преносна функциа глава-седиште под дејством случајних вибрација

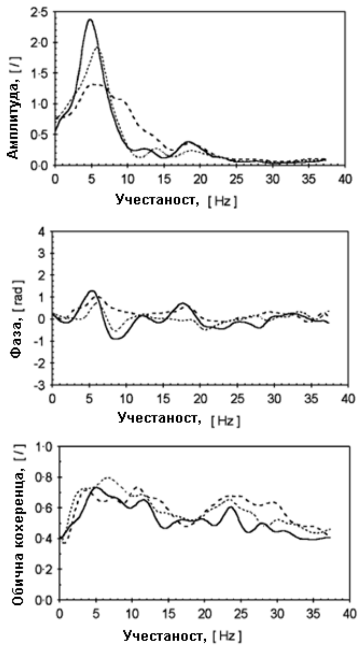
Demic,M., Lukic, J.,Milic, Z.: Some aspects of the investigation of random vibration influence on ride comfort, Journal of Sound and Vibration, (2002), 253 (1), pp. 109-129.

Demic, M., Lukic, J.: Investigation of the transmission of fore and aft vibration trough the human body, Applied Ergonomics XXX (2008), 1-8.

Demic,M.: Lukic, J.: Human Under Two-Directional Random Vibration, Journal of Low Frequency Noice, Vibration and Active Control, Vol. 27, No 3, 2008, pp. 185-201.

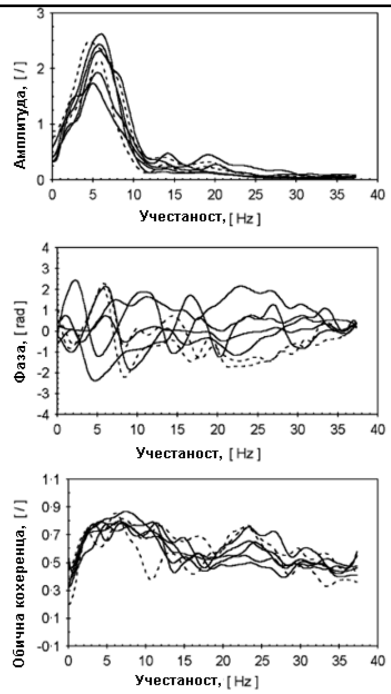


Утицај угла наслона седишта (90° (K)---- и 104 ° (S)) на усредњене преносне функције глава-седиште

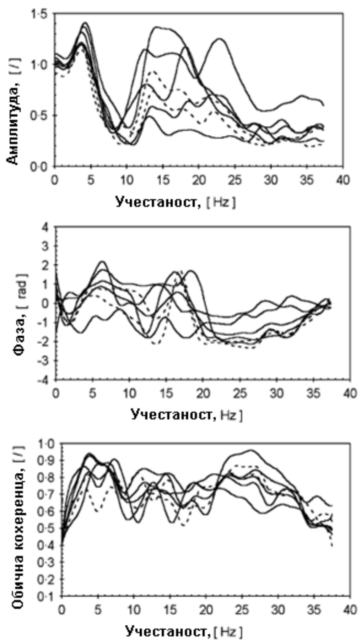


Утицај амплитуде побуде на преносну функцију у напред-назад правцу при дво-осном побуђивању

……………0.55 m/s2,
- - - - - 1.75 m/s
_______2.25 m/s2

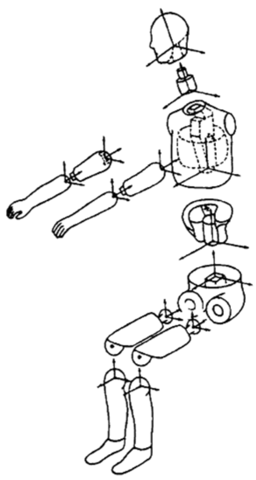


Преносна функција глава – седиште у напред-назад правцу под утицајем дво-осних случајних вибрација



Преносна функција глава – седиште у вертикалном правцу под дејством дво-осних случајних вибрација

Положај тела	Део тела	Правац	Резонантна фреквенција, Hz
Лежећи	Ноге	x	16-31
	Колено	x	4-8
	Стомак	x	4-8
	Груди	x	6-12
	Лобања	x	50-70
	Нога	y	0.8-3
	Стомак	y	0.8-4
	Глава	y	0.6-4
	Нога	z	1-3
	Стомак	z	1.5-3
	Глава	z	1-4
Стојећи	Колено	x	1-3
	Рамена	x	1-2
	Глава	x	1-2
	Цело тело	z	4-7
Седећи	Труп	z	3-6
	Груди	z	4-6
	Кичма	z	3-5
	Рамена	z	2-6
	Желудац	z	4-7

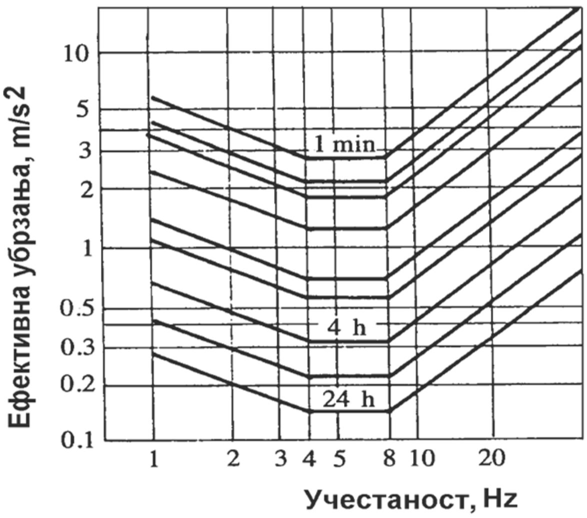


ЗАМОР ЧОВЕКА ПОД ДЕЈСТВОМ ВИБРАЦИЈА

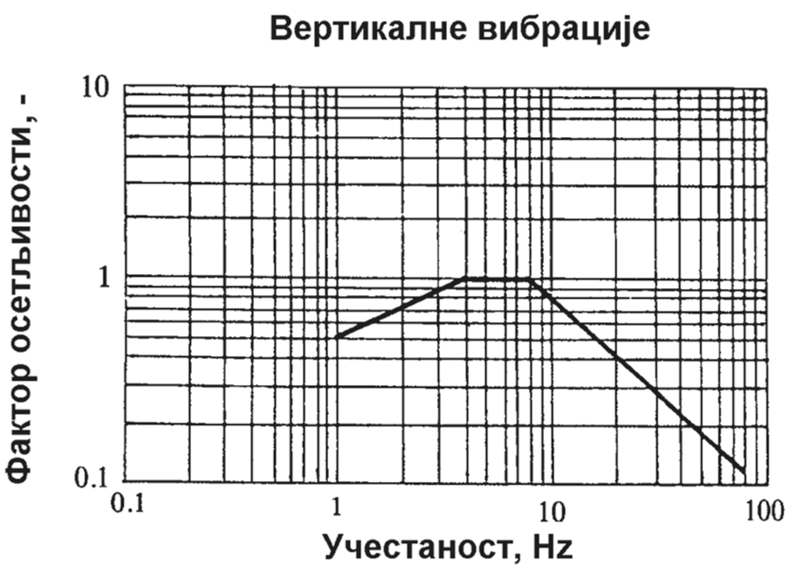
МЕТОДЕ КОЈЕ СЕ, НАЈЧЕШЋЕ, КОРИСТЕ ПРИ ИСПИТИВАЊИМА У ЛАБОРАТОРИЈИ, УЗ КОРИШЋЕЊЕ ПУЛЗАТОРА:

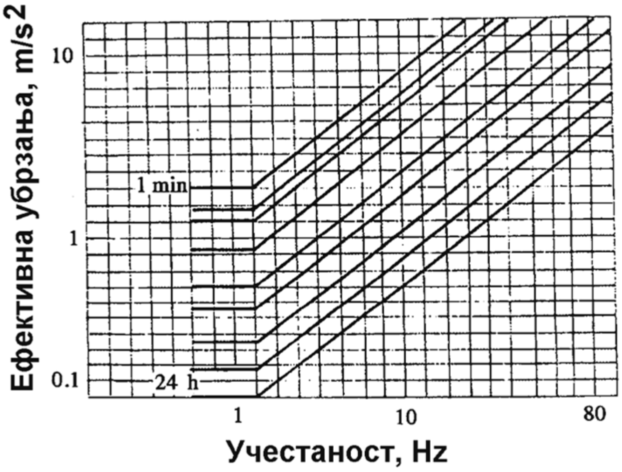
1. МЕТОДА ПЛИВАЈУЋЕ РЕФЕРЕНТНЕ УЧЕСТАНОСТИ И
2. МЕТОДА ПРОЦЕНЕ ВРЕМЕНА ДО ПОЈАВЕ ЗАМОРА ПОД ДЕЈСТВОМ ВИБРАЦИЈА.

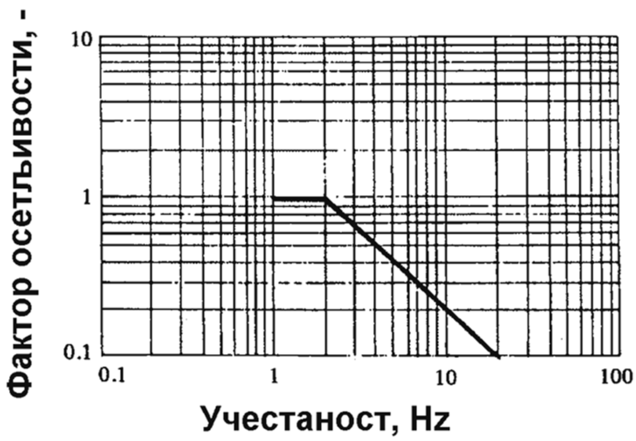
КАО ПОУЗДАНИЈА, ДРУГА МЕТОДА, ЈЕ У ПРАКСИ НАШЛА ШИРУ ПРИМЕНУ.

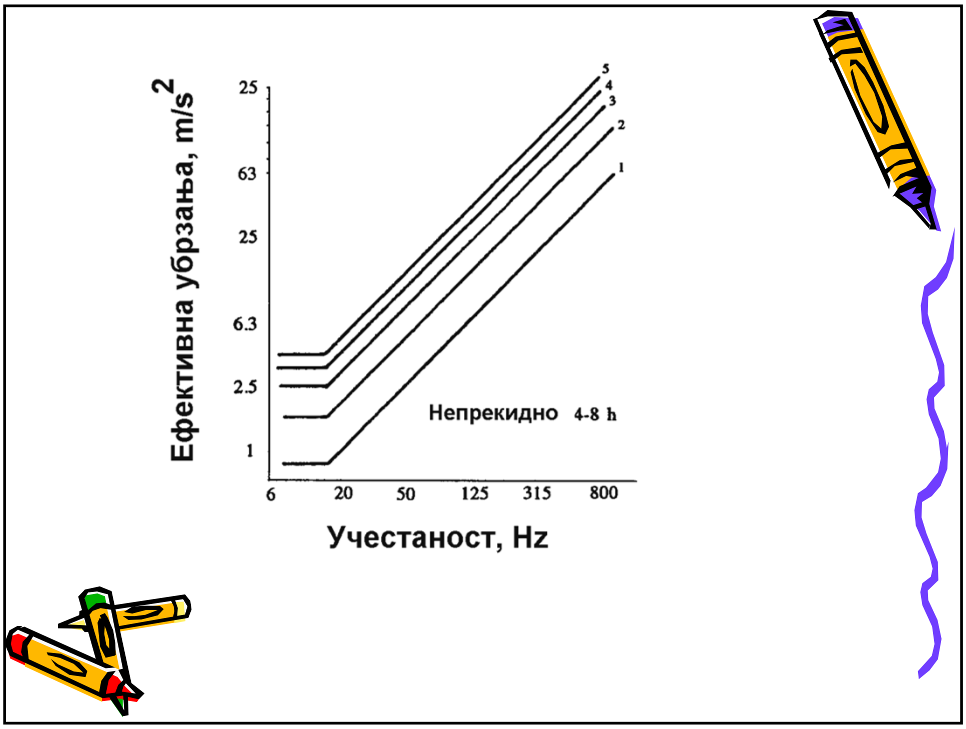


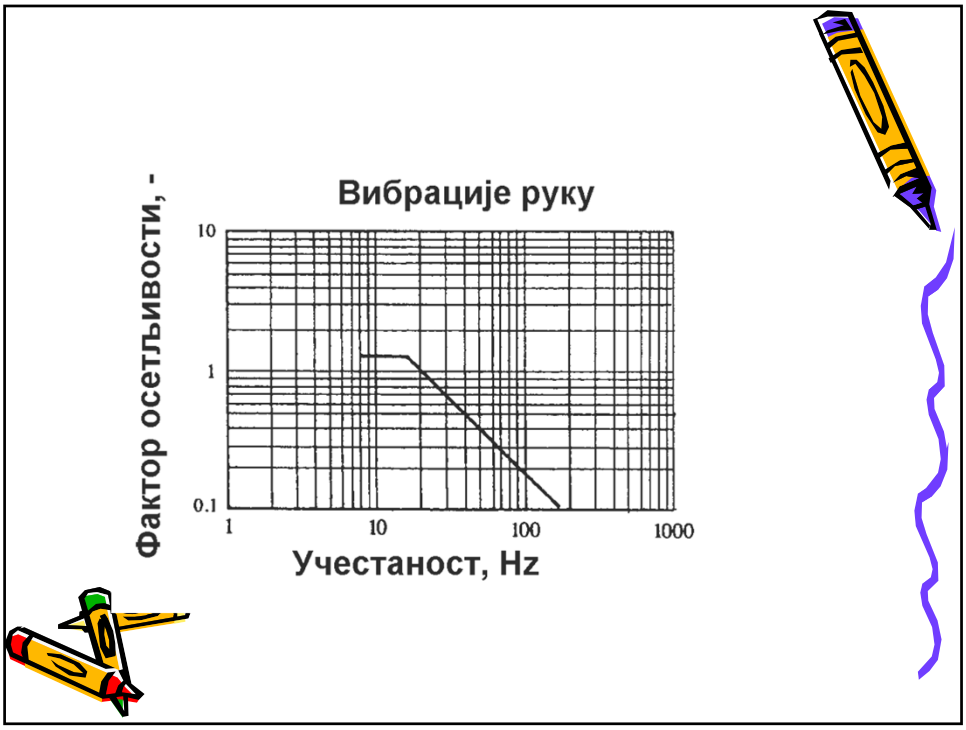
Утицај вертикалних вибрација на човека, ИСО 2631




Ефективна убрзања, m/s2
10
1
0.1
1 min
24 h
1
10
80
Учестаност, Hz

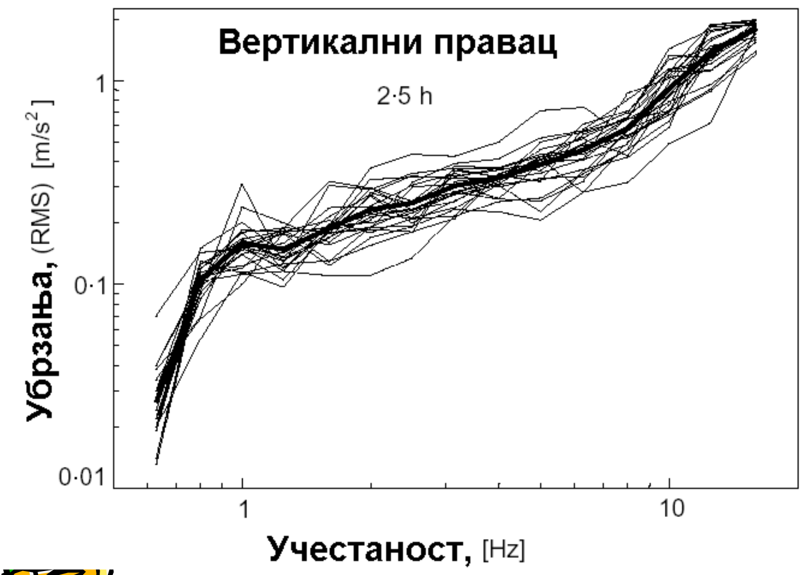

Фактор осетљивости, -
10
1
0.1
0.1
1
10
100
Учестаност, Hz


Ефективна убрзања, m/s2
25
63
25
6.3
2.5
1
6
20
50
125
315
800
5
4
3
2
1
Непрекидно 4-8 h
Учестаност, Hz

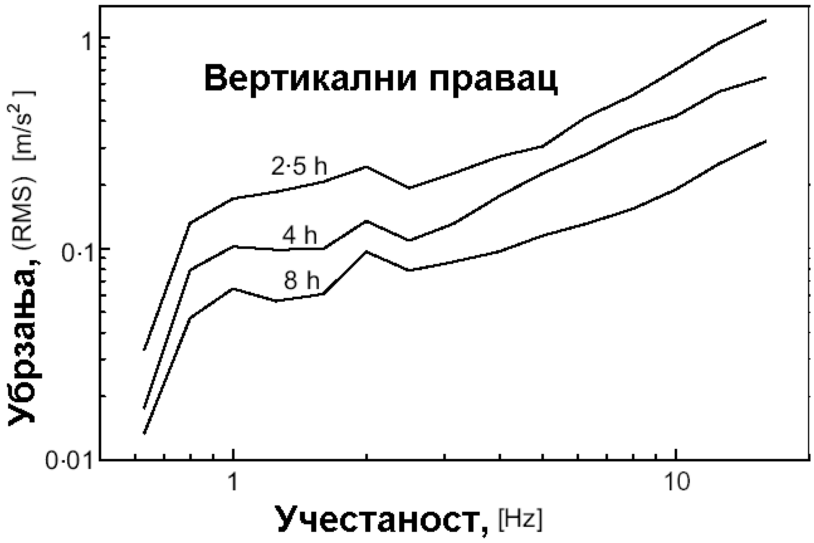

Вибрације руку
Фактор осетљивости, -
10
1
0.1
1
10
100
1000
Учестаност, Hz

Замор човека под дејством случајних вибрација

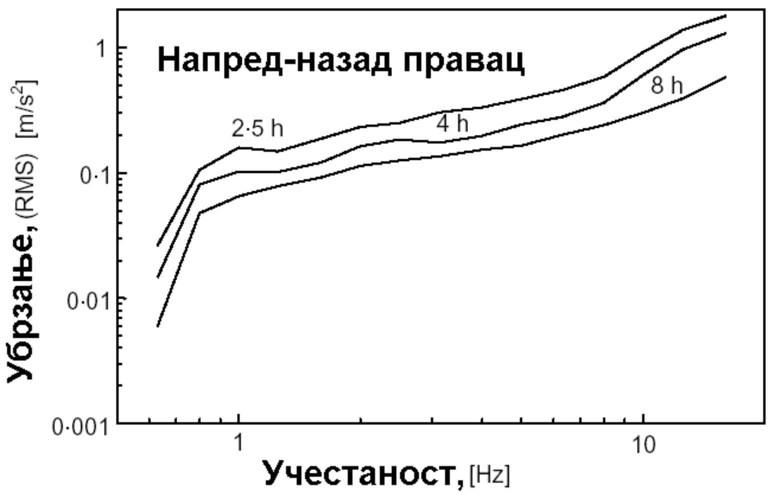
Demic,M., Lukic, J.,Milic, Z.: Some aspects of the investigation of random vibration influence on ride comfort, Journal of Sound and Vibration, (2002), 253 (1), pp. 109-129.



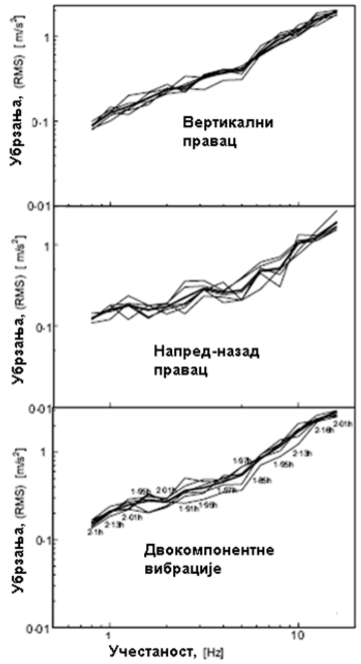
Појединачне криве за 2,5 сати до појаве замора под дејством случајних вертикалних вибрација



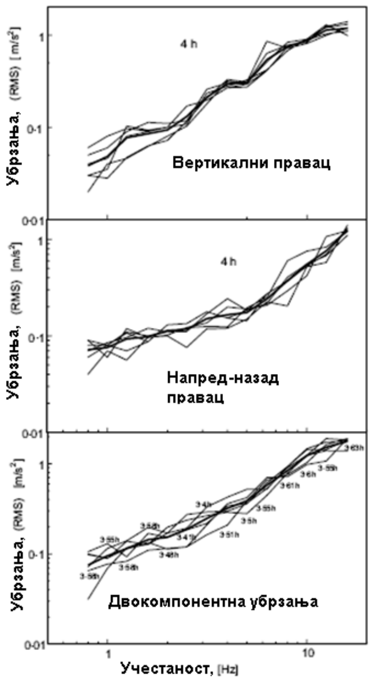
Усредњене криве за 2,5, 4 и 8 сати до појаве замора



Усредњене криве за 2,5, 4 и 8 сати до појаве замора под дејством случајних напред-назад вибрација



Појединачне криве за 2,5 сати до појаве замора: вертикалне (а), напред-назад (б) и комбиноване (ц) под дејством случајних вибрација



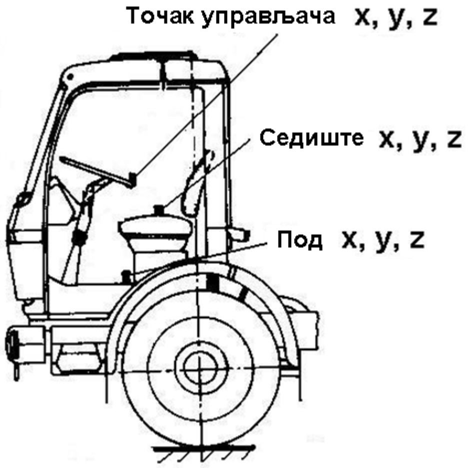
Појединачне криве за 4 сата до појаве замора: вертикалне (а), напред-назад (б) и комбиноване (ц) под дејством случајних вибрација

ОСЦИЛАТОРНА УДОБНОСТ ВОЗИЛА У САОБРАЋАЈНИМ УСЛОВИМА

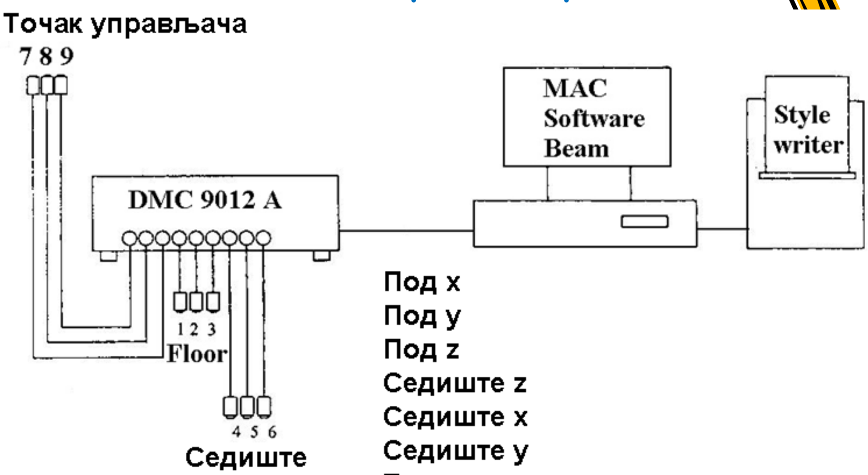
РАДИ ИЛУСТРАЦИЈЕ, ДЕЛИМИЧНО СУ ПРИКАЗАНЕ СТВАРНЕ ВИБРАЦИЈЕ ЛАКОГ КАМИОНА

ЗАСТАВА 49Н, РЕГИСТРОВАНЕ У ПУТНИМ УСЛОВИМА

Положаји давача убрзања

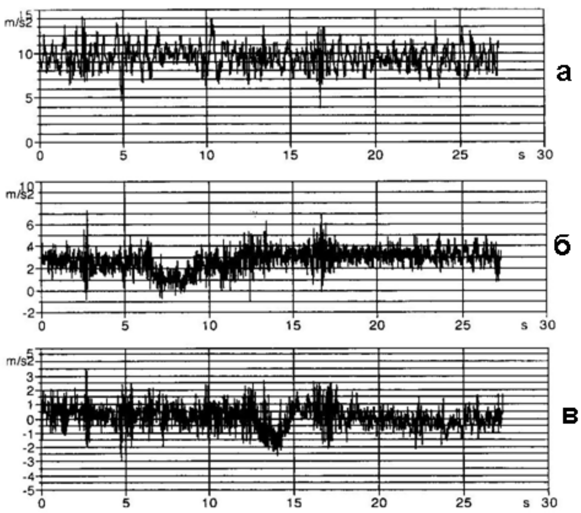


Шема мерне опреме



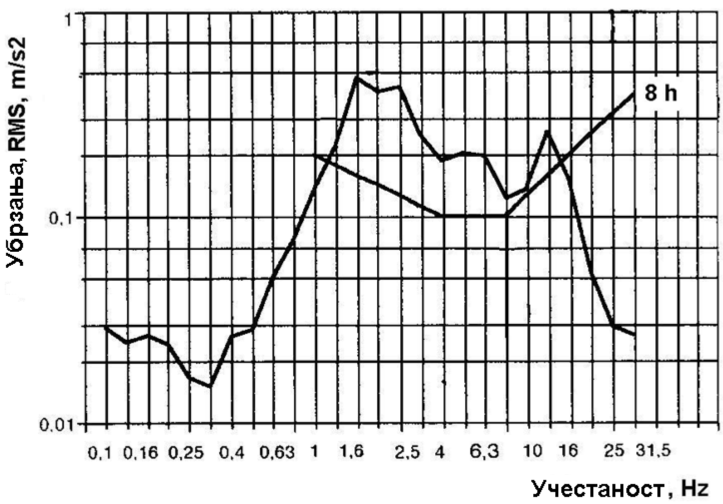
Под x
Под y
Под z
Седиште z
Седиште x
Седиште y
Точак управљача z
Точак управљача x
Точак управљача y

Временске серије-илустрација

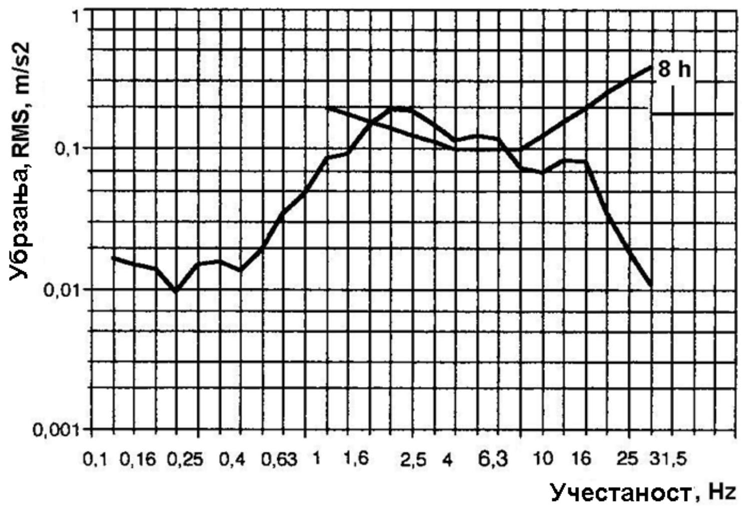


Возило 4910 Н
Брзина 70, km/h
Лош асфалтни пут
Седиште
а) Вертикална,
б) Напред - назад и
в) Бочна убрзања

Вертикалне вибрације, брзина 70 km/h, лош асфалт, оптерећено возило



Вертикална убрзања, добар асфалт, брзина 70 km/h, оптерећено возило



ПРАКТИЧНО РЕШАВАЊЕ ПРОБЛЕМА ВИБРАЦИЈА У МОТОРНИМ ВОЗИЛИМА

ОСНОВИ ОПТИМАЛНОГ ПРОЈЕКТОВАЊА СЕО МОТОРНИХ ВОЗИЛА

Илустрација:

Модел дискретизованог механичког система описује, у најопштијем облику, диференцијална једначина:

$$\dot{Z} = \dot{Z}(Z, A, U, L, Q, t)$$

где су:

- *Z* – вектор генералисаних координата осцилаторног система,
- *A* – вектор осцилаторних параметара система,
- *U* – вектор управљачких функција,
- *Q* – временска функција побуде (од микро-неревнина пута, рада мотора, неуравнотежених маса, неуниформности пнеуматика и сл.).

- *L* – функција која узима у обзир случајну промену карактеристика осцилаторних параметара, у току експлоатације возила и
- *t* – време.

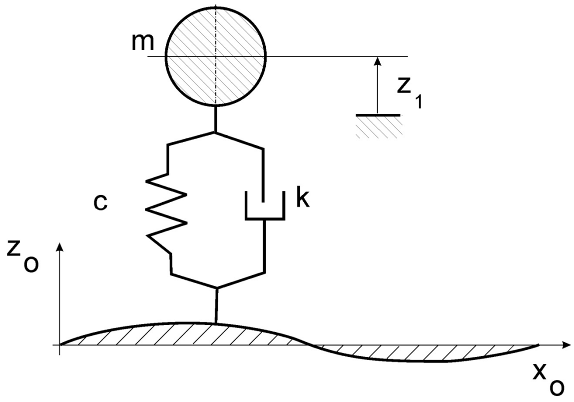
Опште решење векторске диференцијалне једначине се може написати у облику:

$$Z = Z(A, U, L, t)$$

Једноставнији случај је када не постоји функција управљања (U=0) и када се не узима у обзир промена осцилаторних параметара, у току експлоатације возила (L=0), тј:

$$Z = Z(A, t)$$

Елементарни приступ оптимизацији осцилаторних параметара моторних возила



- Посматрани модел возила

$$m\ddot{z} + k\dot{z} + cz = k\dot{z}_0 + cz_0$$

$$Z = Z\left(m, c, k, v, Z_0, t\right)$$

Циљ је минимизација ефективне вредности случајних осцилаторних убрзања возила .

$$\min\left[\ddot{z}_{eff}\left(c,k\right)\right]$$

$$\left(z - z_o\right)_{eff}^2 \le d^2$$

$$\ddot{z}_{eff}^{2}=\int_{0}^{\infty}G_{\ddot{z}}\left(\omega\right)d\omega$$

$$\left(z-z_{0}\right)_{eff}^{2}=\int_{0}^{\infty}G_{z-z_{0}}\left(\omega\right)d\omega$$

$$G_{\ddot{z}}\left(\omega\right)=H_{\ddot{z}}^{2}\left(\omega\right)A_{o}\left(\omega\right)$$

$$G_{z-z_{0}}\left(\omega\right)=H_{z-z_{0}}^{2}\left(\omega\right)A_{0}\left(\omega\right)$$

$$\ddot{z}_{eff}^{2}=\int_{0}^{\infty}\frac{\omega^{4}\left(c^{2}+k^{2}\omega^{2}\right)A_{0}\left(\omega\right)}{\left(c^{2}-m\omega^{2}\right)^{2}+k^{2}\omega^{2}}d\omega$$

$$\left(z-z_{0}\right)_{eff}^{2}=\int_{0}^{\infty}\frac{m\omega^{4}A_{0}\left(\omega\right)}{\left(c^{2}-m\omega^{2}\right)^{2}+k^{2}\omega^{2}}d\omega$$

$$L=\int_{0}^{\infty}\frac{\omega^{4}c^{2}+k^{2}\omega^{2}A_{0}\left(\omega\right)}{\left(c^{2}-m\omega^{2}\right)^{2}+k^{2}\omega^{2}}d\omega+\lambda\left[d^{2}-\int_{0}^{\infty}\frac{m^{2}\omega^{4}A_{0}\left(\omega\right)}{\left(c^{2}-m\omega^{2}\right)^{2}+k^{2}\omega^{2}}d\omega\right]$$

$$\frac{\partial L}{\partial C} = 0 \qquad \frac{\partial L}{\partial k} = 0 \qquad \frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0$$

У општем случају није могуће израчунати у коначном облику величине *c*, *k* и *λ*. Овакав поступак оптимизације је крајње непримењљив у случају модела возила са више параметара, па се у том случају користе друге, прикладније методе нелинеарног програмирања.

Основи стохастичке параметарске оптимизације

Током разматрања сложених нелинеарних, осцилаторних система возила, функција циља и ограничења најчешће нису у општем облику познати, јер се информација о њима добија решавањем система диференцијалних једначина нумеричким методама. При случајним побудама и случајним почетним условима, функција циља и ограничења се добијају у облику низа случајних бројева или процеса.

У току пројектовања возила, реално се може утицати на осцилаторне параметре возила дате вектором A , па се у циљу њиховог оптималног избора параметара формира функција циља у облику:

$$\Phi(A) = M_x\left\{J(x, A)\right\}$$

- где су:

- M_x – математичко очекивање и
- J(x, A) – унапред изабрани функционал.

- У процесу стохастичке параметарске оптимизације ограничења се могу дефинисати функцијама облика:

$$H_1(A) = M_x\{h_1(x, A)\} = 0$$

$$H(A) = M_x\{h(x, A)\} \leq 0$$

Облик функција h_1(A) и h(A) у фази оптимизације не мора бити унапред познат.

У случају оптимизације управљања осцилаторним системом, исти се решава на тај начин што се функција управљања посматра као посебан осцилаторни параметар система.

Неки од могућих задатака који се могу срести у процесу оптимизације осцилаторних параметара моторних возила су:

- истовремено минимизирање и/или максимизирање једне или више генералисаних координата и њихових извода,

- истовремено минимизирање и/или максимизирање генералисаних координата и њихових извода, сила, момената и других физичких величина на пример времена трајања одзива на ударне вибрације,
- дефинисање параметара система са унапред задатим ограничењем у погледу положаја резонантних учестаности његових подсистема,
- идентификација непознатих осцилаторних параметара система и сл.

Теоријски до краја није решен проблем оптимизације у случају да постоји више циљева које треба задовољити, више величина које треба истовремено минимизирати и/или максимизирати. Обзиром на поменуту чињеницу, овај проблем се у пракси решава избором функције циља у облику:

$$\Phi(x) = \sum_{i=1}^{S} \pm r_i q_i$$

где су:

- r_i – тежински коефицијенти који одређују ранг утицаја појединих парцијалних циљева (генералисане координате, силе, моменти, и сл.),
- q_i – величина која се минимизира (знак +) или максимизира (знак –). Величина q_i практично може бити било која генералисана координата или њен извод по времену, сила, момент,... Избор величине q_i у пракси зависи од конкретног проблема који се решава.

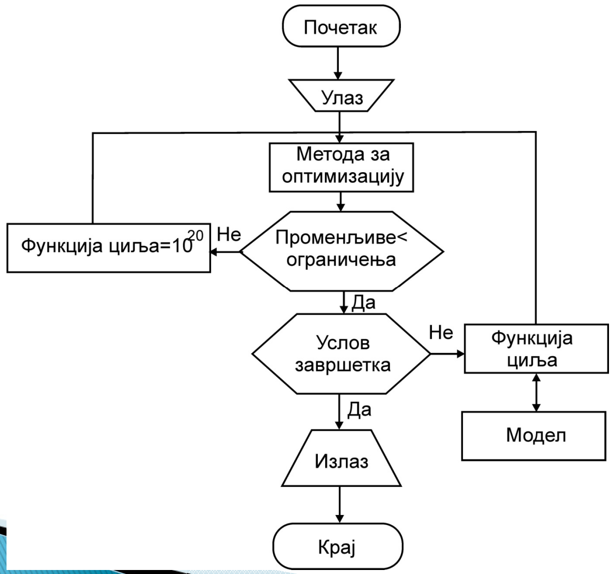
У току решавања проблема параметарске оптимизације код моторних возила могу се срести различита ограничења:

- могућност конструктивног извођења са аспекта габарита (мин – мах),
- раздвајање резонантних тачака осцилаторних подсистема возила,
- раздвајање резонантних тачака човечијег тела од резонантних тачака осцилаторних подсистема возила,

- задовољавање ергономских захтева, на пример одређене криве замора, удобности, и тд.

Проблем конструктивних и других ограничења решава се применом спољашњих казнених функција, а крај процеса оптимизације дефинисан је унапред задатим критеријумом, у зависности од примењене методе нелинеарног програмирања.

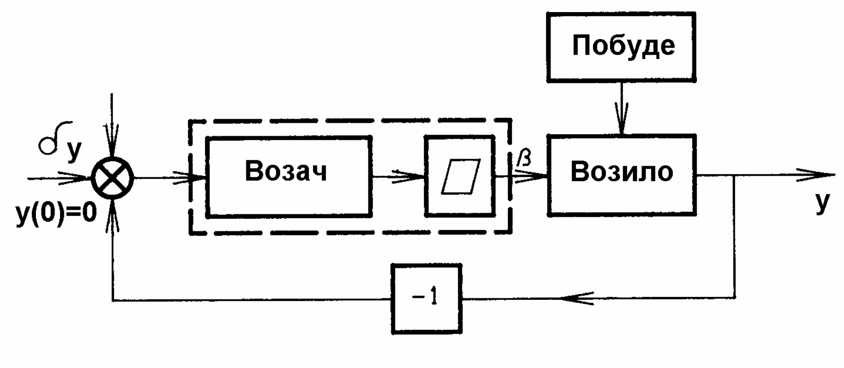
Задатак се решава применом рачунара, а његов блок дијаграм је приказан на слици.



ПРИМЕР

Demic, M.:
Optimization of vehicles elasto-damping elements characteristics from the aspect of ride comfort (1994)
Vehicle System Dynamics 23 (5), pp. 351-370

Модел возача

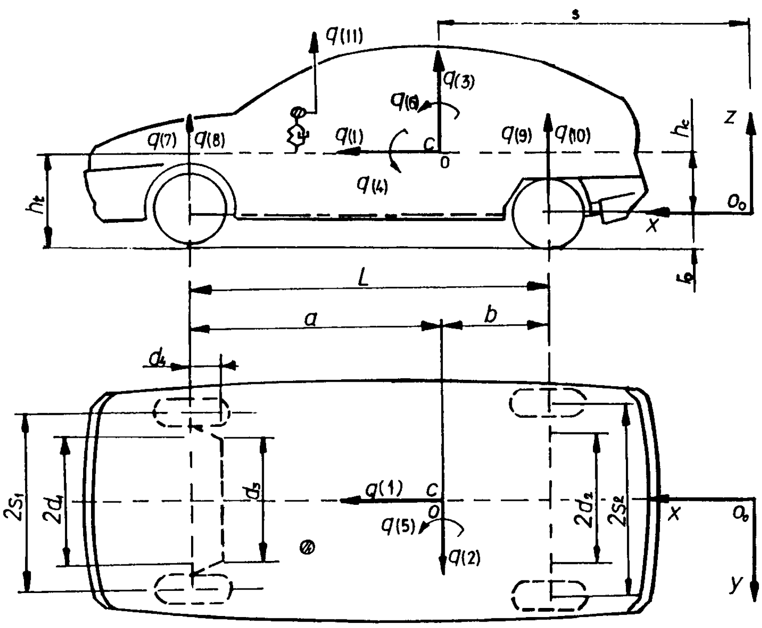


$$H(p) = k\frac{(1-0,5t_o p)(1+T_o p)(1+T_3 p)}{(1+0,5t_o p)(1+2\psi_1 T_1 p + T_1^2 p^2)(1+2\psi_2 T_2 p + T_2^2 p^2)}$$

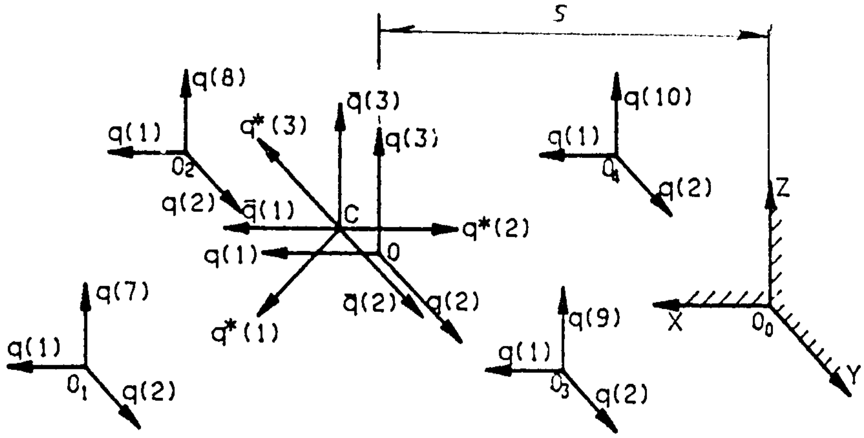
- где су:
- *H*(p) – преносна функција возача у току праволинијске вожње,
- p = iω
- i – имагинарна јединица,
- ω – кружна учестаност),
- t_0 – време реакције возача,
- T_0, T_1, T_2 и T_3 – временске константе (табела 2.1), а
- ψ_1 и ψ_2, – константе чије су вредности познате.

Модел возила

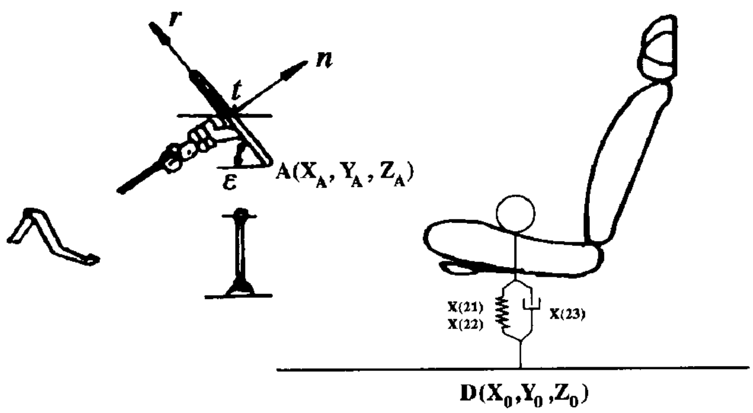
- основно кретање *q*(1),
- бочно кретање *q*(2),
- вертикалне вибрације *q*(3),
- ваљање *q*(4),
- галопирање *q*(5),
- вијугање каросерије *q*(6),
- вертикалне вибрације точкова *q*(7) *q*(10),
- вертикалне вибрације седишта возача *q*(11) и
- радијална, нормална и тангенцијална убрзања точка управљача , и респективно.



Координатни системи



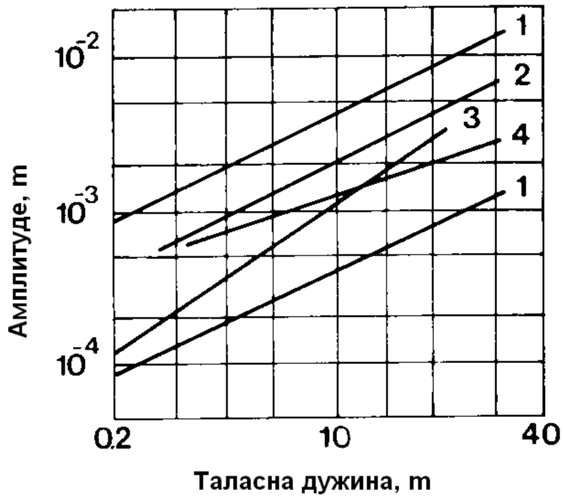
Карактеристичне тачке



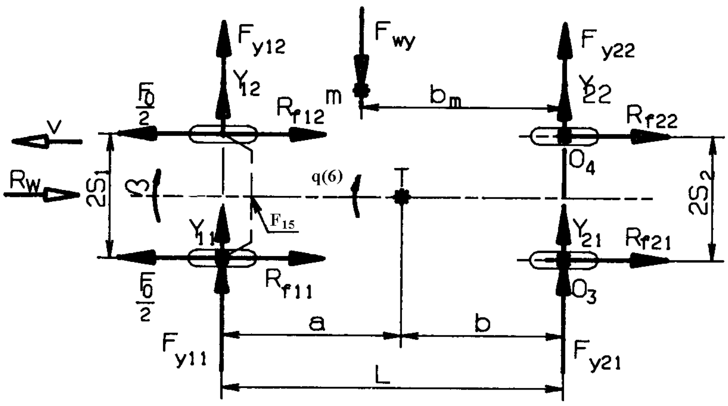
	Линеарни	Квадратни	Кубни
Предња опруга	X(1)	0	X(2)
Задња опруга	X(3)	0	X(4)
Предњи пнеуматик - вертикални правац	X(5)	X(6)	X(7)
Задњи пнеуматик - вертиклани правац	X(8)	X(9)	X(10)
Предњи стабилизатор	X(11)	0	0
Предњи пнеуматик-бочни правац	X(16)	0	0
Задњи пнеуматик-бо□ни правац	X(17)	0	0
Предњи и задњи пнеуматик-момент стабилизације	X(18)	0	0
Јастуче седишта	X(19)	0	X(20)

	Линеарни	Квадратни
Предњи амортизер	X(12)	X(13)
Задњи амортизер	X(14)	X(15)
Јастуче седишта	X(21)	0

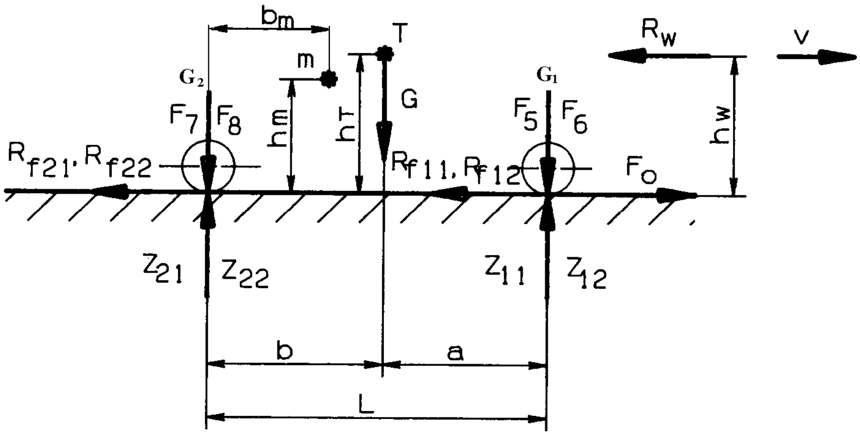
Карактеристике побуде од пута



Силе и моменти у хоризонталној равни



Силе у вертикалној равни



Функција циља

$$\Phi = r_1\{\frac{1}{M}\{[\sum_1^M k_1(f)\ddot{q}(11)(f)]^2 + [\sum_1^M \ddot{q}(2)(f)]^2 + [\sum_1^M k_2(f)\ddot{t}(f)]^2 +$$

$$[\sum_1^M k_2(f)\ddot{r}(f)]^2 + [\sum_1^M k_2(f)\ddot{n}(f)]^2 + r_2(\sigma_{Z11} + \sigma_{Z12} + \sigma_{Z21} + \sigma_{Z22})$$

- r_1, r_2–тежински коефицијенти који одређују ранг утицаја појединих величина и своде их на исте димензије. Оптимизација је вршена са две групе ових коефицијената и то: r_1=2 i 1000 а r_2=1 и 1, чиме је дат већи утицај вибрацијама него динамичким реакцијама тла,

- *f* – средње вредности терц-октавних учестаности,
- *M* – број хармоника (у нашем случају 25 у интервалу 0.315 – 63 Hz),
- σ_{zij}(*i,j=1,2*)–стандардна одступања нормалних динамичких реакција тла, а
- K_1(f) и K_2(f) су фактори осетљивости човека за вертикалне вибрације седишта и руку; како су K_1(f) и K_2(f) деfинисани у фреквентном домену, неопходно је да се сва убрзања која фигуришу у функцији циља применом Фуријеове трансформације преведу у фреквентни домен.

Упоредне вредности (пре и после оптимизације)

Брзина возила 30 m/s		
	Почетне вредности	Оптималне вредности
Верт. убрз.сед.	1,911e+0	4,339e-1
Бочна убрз. теж.	3,450e-1	2,877e-1
Танг. убрз. точ. убр.	7,319e-2	6,528e-2
Рад. убрз. точ. упр.	3,782e-1	3,729e-1
Бочно убрз. точ. упр.	9,392e-1	8,810e-1
Станд. одст. Z_{11}	1,569e+2	1,469e+2
Станд. одст. Z_{12}	8,323e+2	7,263e+2
Станд. одст. Z_{21}	2,248e+2	2,143e+2
Станд. одст. Z_{22}	8,196e+2	6,962e+2

Остварене резонантне учестаности

Јастуче седишта	2 Hz
Каросерија (правац) - вертикални - бочни	 1,8 Hz 2,2 Hz
Точкови - предњи - задњи	 15,2 Hz 18 Hz

- НАПОМИЊЕ СЕ ДА СЕ КОД КЛАСИЧНИХ СЕО МОГУ ОСТВАРИТИ САМО СУБОПТИМАЛНЕ ВРЕДНОСТИ ОСЦИЛАТОРНИХ ПАРАМЕТАРА- ЗА УЗАН ДИЈАПАЗОН ЕКСПЛОАТАЦИОНИХ УСЛОВА.
- ПРИХВАТЉИВИЈЕ РЕШЕЊЕ СЕ МОЖЕ ПОСТИЋИ КОРИШЋЕЊЕМ ПОЛУАКТИВНИХ И АКТВНИХ СЕО. ОВДЕ ЋЕ БИТИ РЕЧИ САМО О АКТИВНИМ СИСТЕМИМА.

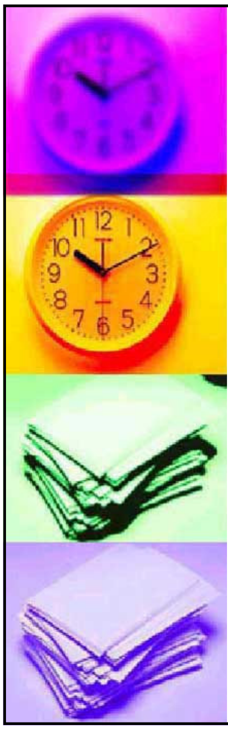
ПОЛУАКТИВНИ СЕО СЕ БАЗИРАЈУ НА РЕГУЛАЦИЈИ СИЛЕ У ОПРУГАМА, ИЛИ, ЧЕШЋЕ, АМОРТИЗЕРИМА, ДОК АКТИВНИ СИСТЕМИ ПОСЕДУЈУ ГЕНЕРАТОР СИЛЕ И ЗАХТЕВАЈУ ДОДАТНИ ИЗВОР ЕНЕРГИЈЕ.

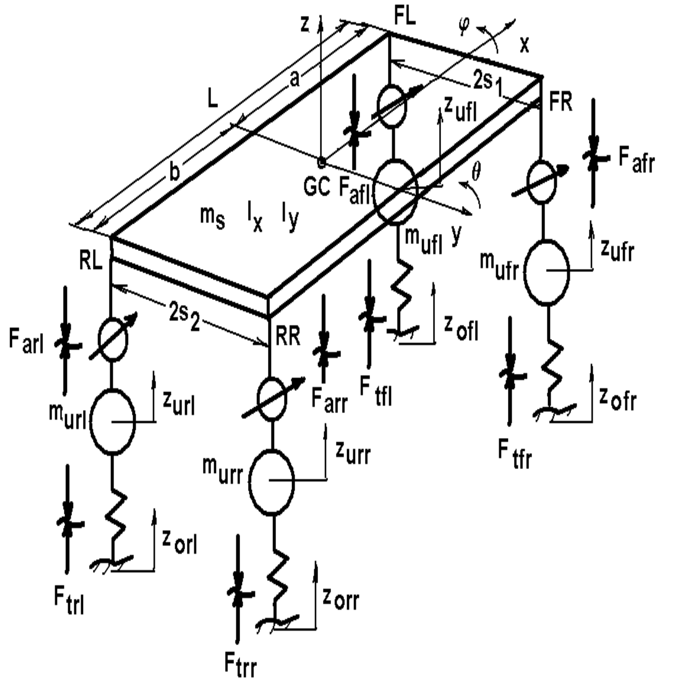
ЗБОГ ВИСОКЕ ЦЕНЕ АКТИВНИ СИСТЕМИ ПРИМЕНУ НАЛАЗЕ КОД НАЈНОВИЈИХ ПУТНИЧКИХ АУТОМОБИЛА ВИСОКЕ КЛАСЕ.

ПРИМЕР

Demić, M., Demić, I., Demić, M., Diligenski, D.:

A method of vehicle active suspension design (2006) Forschung im Ingenieurwesen/Engineering Research 70 (3), pp. 145-158





$$\ddot{z} = (QE[1] - K[1]) / m_s$$
$$\ddot{\varphi} = (QE[2] - K[2]) / (I_x \cos^2 \theta + 2I_x \sin^2 \theta)$$
$$\ddot{\theta} = (QE[3] - K[3]) / I_y$$
$$\ddot{z}_{ufl} = (QE[4] - K[4]) / m_{uf}$$
$$\ddot{z}_{ufr} = (QE[5] - K[5]) / m_{uf}$$
$$\ddot{z}_{url} = (QE[6] - K[6]) / m_{ur}$$
$$\ddot{z}_{urr} = (QE[7] - K[7]) / m_{ur}$$

$$K[1] = 0$$
$$K[2] = 2(I_z - I_x)\dot{\varphi}\dot{\theta}\sin\theta\cos\theta$$
$$K[3] = (I_z - I_x)\dot{\varphi}^2 \sin\theta\cos\theta$$
$$K[4] = 0$$
$$K[5] = 0$$
$$K[6] = 0$$
$$K[7] = 0$$

$$QE[1] = -(F_{afl} + F_{afr} + F_{arl} + F_{arr})\cos\varphi\cos\theta - m_s g$$

$$QE[2] = (F_{afl} - F_{afr})s_1\cos\varphi\cos\theta + (F_{arl} - F_{arr})s_2\cos\varphi\cos\theta$$

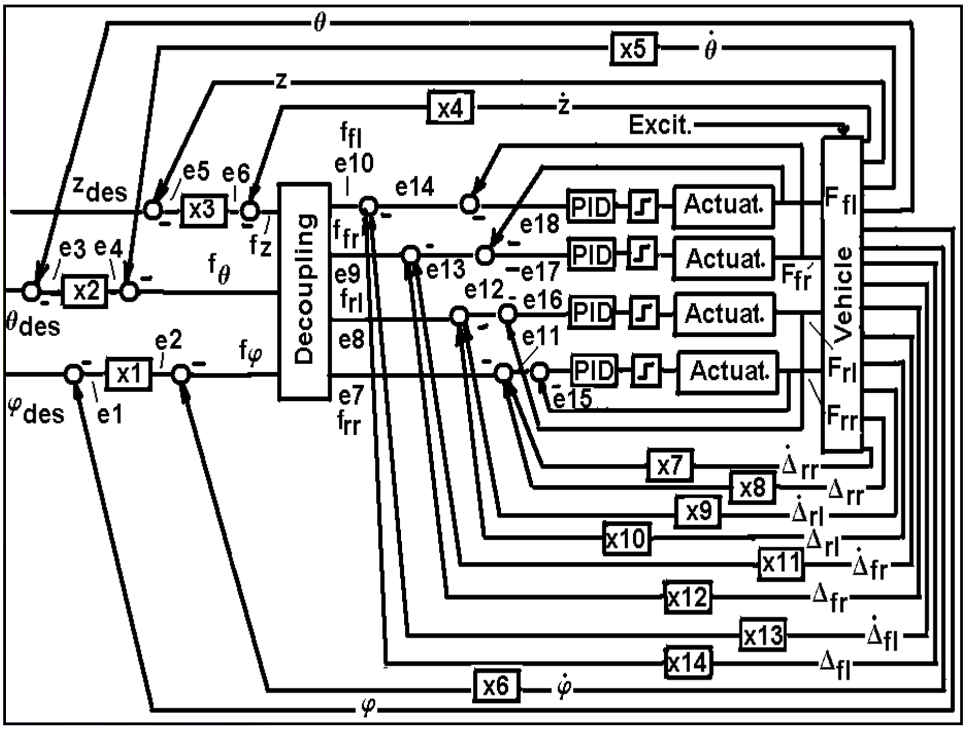
$$QE[3] = (F_{afl} - F_{afr})a\cos\theta + (F_{afr} - F_{afl})s_1\sin\varphi\sin\theta - (F_{afl} + F_{afr})b\cos\theta + \\ +(F_{arr} - F_{arl})s_2\sin\varphi\sin\theta$$

$$QE[4] = -F_{tfl} + F_{afl}\cos\varphi\cos\theta$$

$$QE[5] = -F_{tfr} + F_{afr}\cos\varphi\cos\theta$$

$$QE[6] = -F_{trl} + F_{arl}\cos\varphi\cos\theta$$

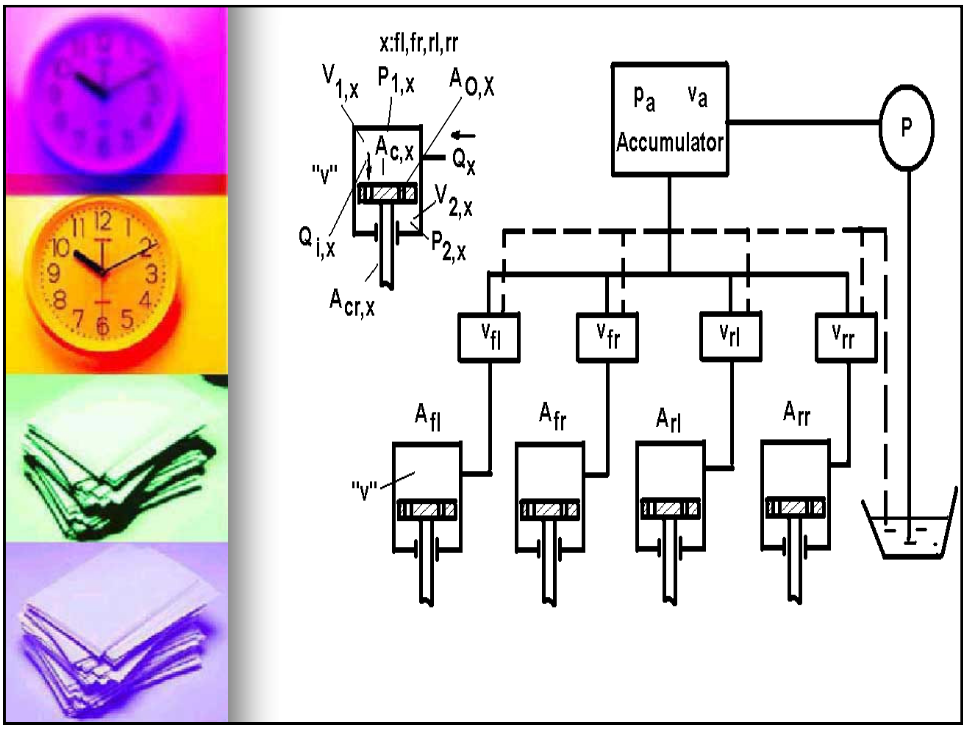
$$QE[7] = -F_{trr} + F_{arr}\cos\varphi\cos\theta$$



$$\begin{bmatrix} f_z \\ f_\varphi \\ f_\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -c\varphi c\theta & -c\varphi c\theta & -c\varphi c\theta & -c\varphi c\theta \\ s_1 c\varphi c\theta & -s_1 c\varphi c\theta & s_2 c\varphi c\theta & -s_2 c\varphi c\theta \\ ac\theta - s_1 s\varphi s\theta & ac\theta + s_1 s\varphi s\theta & -bc\theta - s_2 s\varphi s\theta & -bc\theta + s_2 s\varphi s\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{fl} \\ f_{fr} \\ f_{rl} \\ f_{rr} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} f_{fl} \\ f_{fr} \\ f_{rl} \\ f_{rr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dfrac{b}{Lc\varphi c\theta} & \dfrac{(s_1^2+s_2^2)s\varphi s\theta + s_1 Lc\theta}{2L(s_1^2+s_2^2)c\varphi c^2\theta} & \dfrac{1}{2Lc\theta} \\ -\dfrac{b}{Lc\varphi c\theta} & \dfrac{(s_1^2+s_2^2)s\varphi s\theta - s_1 Lc\theta}{2L(s_1^2+s_2^2)c\varphi c^2\theta} & \dfrac{1}{2Lc\theta} \\ -\dfrac{a}{Lc\varphi c\theta} & -\dfrac{(s_1^2+s_2^2)s\varphi s\theta - s_2 Lc\theta}{2L(s_1^2+s_2^2)c\varphi c^2\theta} & -\dfrac{1}{2Lc\theta} \\ -\dfrac{a}{Lc\varphi c\theta} & -\dfrac{(s_1^2+s_2^2)s\varphi s\theta + s_2 Lc\theta}{2L(s_1^2+s_2^2)c\varphi c^2\theta} & -\dfrac{1}{2Lc\theta} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_z \\ f_\varphi \\ f_\theta \end{bmatrix}$$

$$e1 = \varphi_{des} - \varphi$$
$$e2 = e1\,x[1]$$
$$e3 = \theta_{des} - \theta$$
$$e4 = e3\,x[2]$$
$$e5 = z_{des} - z$$
$$e6 = e3\,x[2]$$
$$f_\varphi = e2 - x[6]\dot{\varphi}$$
$$f_\theta = e4 - x[5]\dot{\theta}$$
$$f_z = e5 - x[4]\dot{z}$$
$$e7 = f_{rr}$$
$$e8 = f_{rl}$$
$$e9 = f_{fr}$$
$$e10 = f_{fl}$$
$$e11 = e7 - x[7]\dot{\Delta}_{rr} - x[8]\Delta_{rr}$$
$$e12 = e8 - x[9]\dot{\Delta}_{rl} - x[10]\Delta_{rl}$$
$$e13 = e9 - x[11]\dot{\Delta}_{fr} - x[12]\Delta_{fr}$$
$$e14 = e10 - x[13]\dot{\Delta}_{fl} - x[14]\Delta_{fl}$$
$$e15 = e11 - F_{rr}$$
$$e16 = e12 - F_{rl}$$
$$e17 = e13 - F_{fr}$$
$$e18 = e14 - F_{rl}$$
$$x_{vrr} = x[24]e15 + x[25]\int e15\,dt + x[26]\frac{de15}{dt}$$
$$x_{vrl} = x[18]e16 + x[22]\int e16\,dt + x[23]\frac{de16}{dt}$$
$$x_{vfr} = x[24]e17 + x[19]\int e17\,dt + x[20]\frac{de17}{dt}$$
$$x_{vfl} = x[15]e18 + x[16]\int e18\,dt + x[17]\frac{de18}{dt}$$



$$\frac{dp_{1,x}}{dt} = \alpha \frac{Q_x - Q_{i,x} - A_{c,x}(\dot{\Delta}_x^* - \dot{z}_{u,x})}{v_{1,x} + A_{c,x}(\Delta^*_x - z_{u,x})}$$

$$\frac{dp_{2,x}}{dt} = \alpha \frac{Q_{i,x} + (A_{c,x} - A_{cr,x})(\dot{\Delta}_x^* - \dot{z}_{u,x})}{v_{2,s} - (A_{c,s} - A_{cr,s})(\Delta^*_x - z_{u,x})}$$

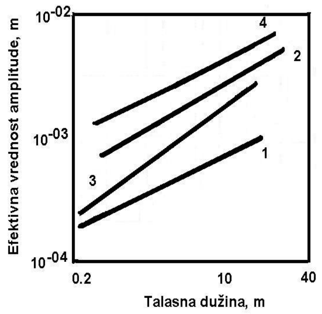
$$Q_{i,x} = A_{0,x} k_{1,x} sign(p_{1,x} - p_{2,x}) \sqrt{\frac{2}{\rho}\left|p_{1,x} - p_x\right|}$$

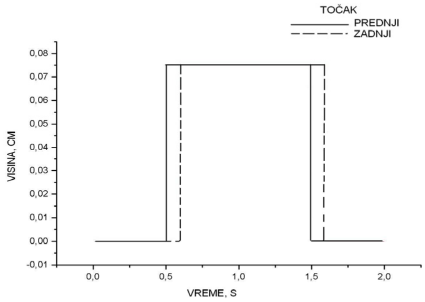
$$Q_x = A_{v,x} k_{v,x} x_{v,x} \sqrt{\frac{2}{\rho}\left|p_a step(x_{v,x}) - p_{1,x}\right|}$$

$$x = fl, fr, rl, rr$$

$$F_x = A_{c,x} p_{1,x} - (A_{c,x} - A_{cr,x}) p_{2,x}$$

$$x = fl, fr, rl, rr$$





$$\Phi = rang1 * \bar{z}_{ef} + rang2 * \bar{\varphi}_{ef}\ rang3 * \bar{\theta}_{ef} +$$

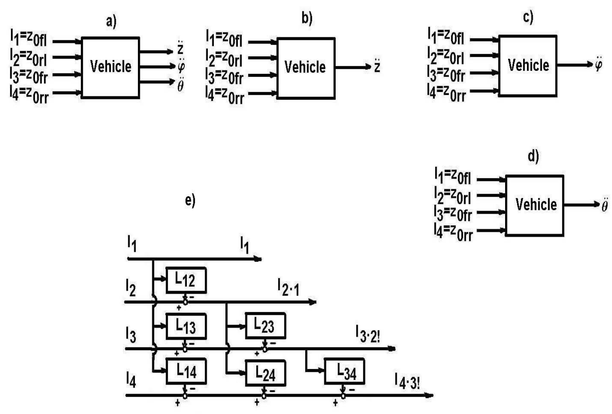
$$rang4 * \sigma_{Rlpl} + rang5 * \sigma_{Rdpd} + rang6 * \sigma_{Rl} + rang7 * \sigma_{Rd}$$

Table 1. Basic data on the observed vehicle model and active suspension system

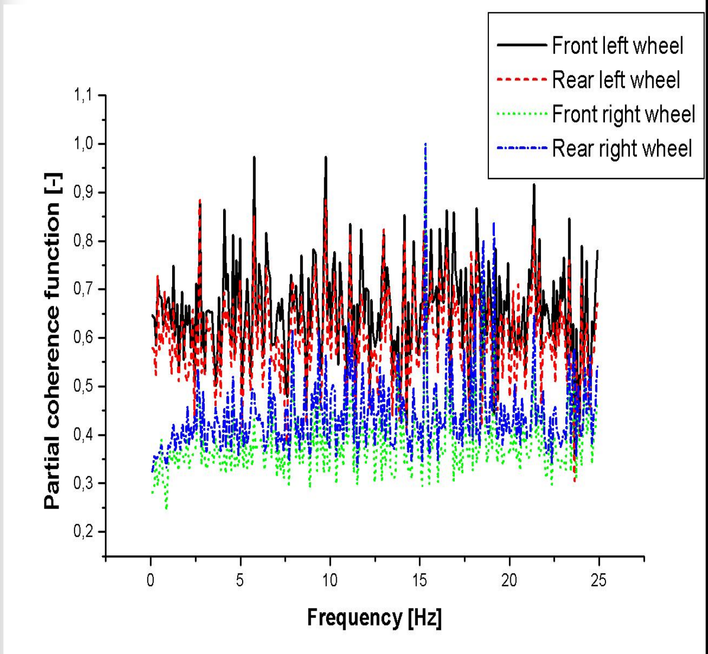
Sprung mass, m_s, kg	1500
Front wheel mass, m_{uf}, kg	59
Rear wheel mass, m_{ur}, kg	59
Moment of inertia, I_x, kgm^2	750
Moment of inertia, I_y, kgm^2	2160
Moment of inertia, I_z, kgm^2	2160
Wheelbase, L, m	3.1
C.G. position, a/b, -	1.4/1.7
* Linear coefficient of tire stiffness, c_{t1}, N/m	190000
* Square coefficient of tire stiffness, c_{t2}, Nm^{-2}	1900000
* Cube coefficient of tire stiffness, c_{t3}, Nm^{-3}	19000000
Desired vehicle height, z_{des}, m	0.5
Sprung mass desired roll, φ_{des}, rad	0
Sprung mass desired pitch, θ_{des}, rad	0
Characteristic vehicle velocity, v, ms^{-1}	30

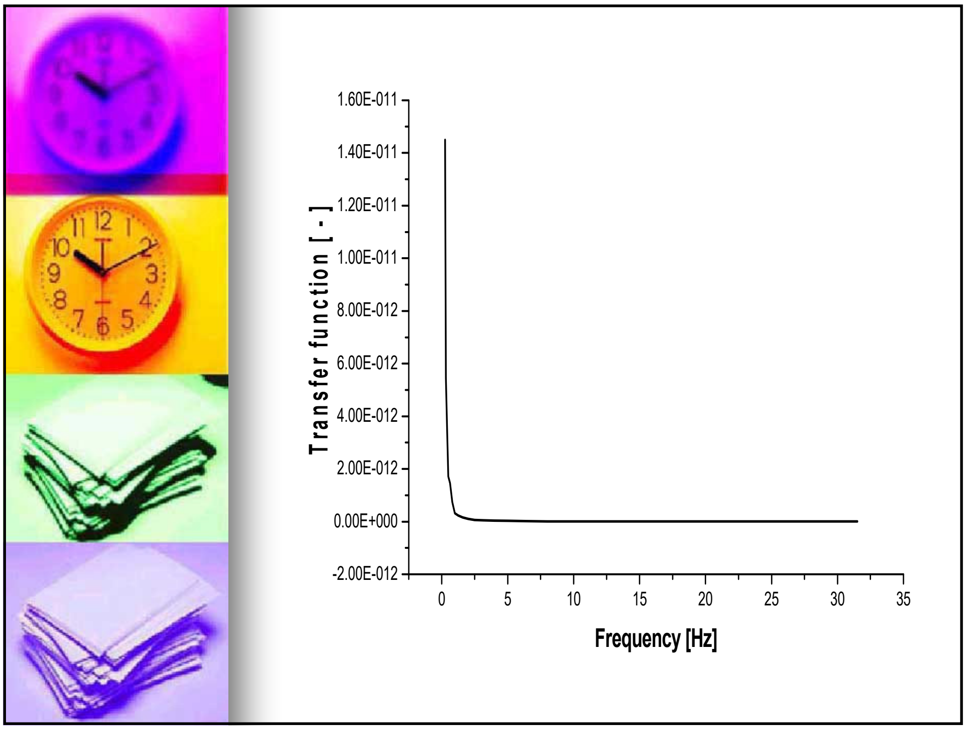
***For front and rear tires**

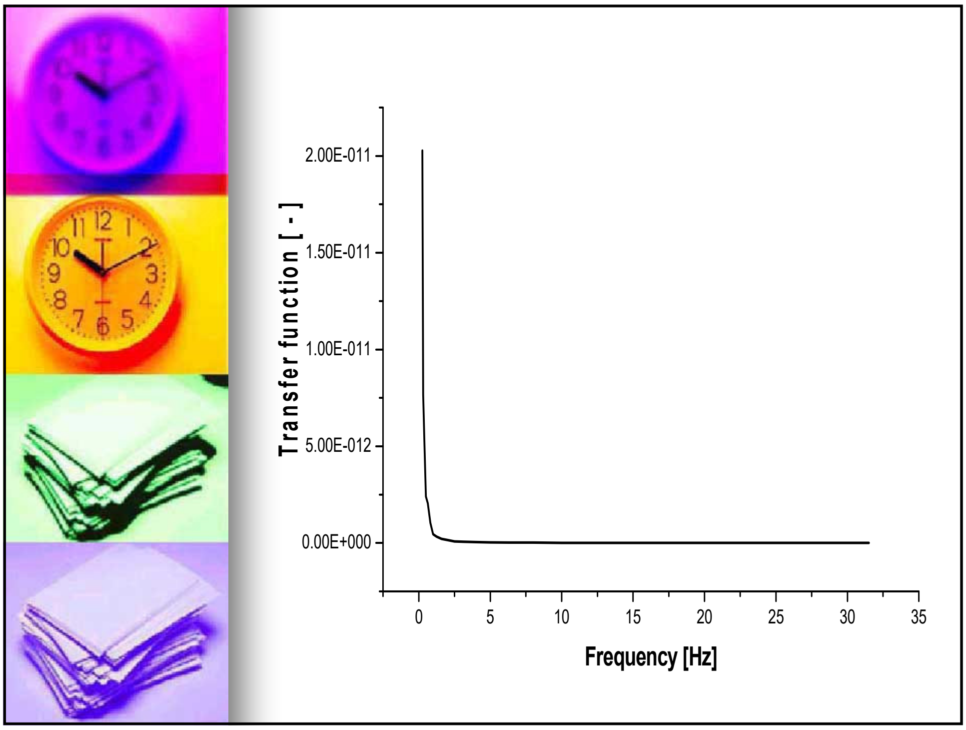
X[i]	X[i]=10000	X[i]=20000	X[i]=5000
1, Nr^{-1}	1.3428702548087E+004	2.6857405096174E+004	6.7143512740437E+003
2, Nr^{-1}	1.5891404599341E+004	3.1782809198683E+004	7.9457022996709E+003
3, Nm^{-4}	1.8747622662877E+004	4.3020059639150E+004	1.0064413120613E+004
4, Nsm^{-1}	9.7919632319989E+004	9.9804663707078E+004	9.9909265506468E+004
5, Nsr^{-1}	1.4558814312791E+004	2.9117628625582E+004	7.2794071563957E+003
6, Nsr^{-1}	2.3220367072858E+004	4.6440734145716E+004	1.1610183536429E+004
7, Nsm^{-1}	2.0418899351178E+002	1.9952785375001E+001	1.0209449675589E+002
8, Nm^{-1}	1.6140127597645E+004	3.9648408312466E+004	8.0700637988229E+003
9, Nsm^{-1}	2.6590386918431E+004	4.0737983648039E+004	1.3295193459215E+004
10, Nm^{-1}	1.0393744375235E+004	2.0787488750469E+004	5.1968721876174E+003
11, Nsm^{-1}	2.5736444511568E+004	5.1472889023136E+004	1.2868222255784E+004
12, Nm^{-1}	1.7158095347334E+004	3.4316190694668E+004	8.5790476736671E+003
13, Nsm^{-1}	2.5977678749565E+004	5.1955357499131E+004	1.2988839374782E+004
14, Nm^{-1}	1.6659333989112E+004	3.3318667978225E+004	8.3296669945563E+003
15, N	1.6752336922905E+004	3.3504673845811E+004	8.3761684614529E+003
16, N	2.5687516853360E+004	5.1375033706720E+004	1.2843758426680E+004
17, N	1.7936414796929E+004	3.5872829593859E+004	8.9682073984648E+003
18, N	2.4234368496844E+004	4.8468736993688E+004	1.2117184248422E+004
19, N	2.5237676258063E+004	5.0475352516127E+004	1.2618838129031E+004
20, N	1.7753708247341E+004	3.5507416494683E+004	8.8768541236708E+003
21, N	1.3236776983091E+004	2.6473553966183E+004	6.6183884915458E+003
22, N	2.5459626730720E+004	5.0919253461441E+004	1.2729813365360E+004
23, N	1.9422572371743E+004	3.8845144743486E+004	1.2538057897394E+004
24, N	1.9573734014263E+004	3.9147468028527E+004	9.7868670071318E+003
25, N	1.5546684654831E+004	3.1093369309662E+004	7.7733423274157E+003
26, N	2.0039502690931E+004	4.0079005381868E+004	1.0019751345465E+004
NIT,- ☞📪 📫	12194 1.1131E+005	12557 1.1129E+005	11938 1.1128E+005

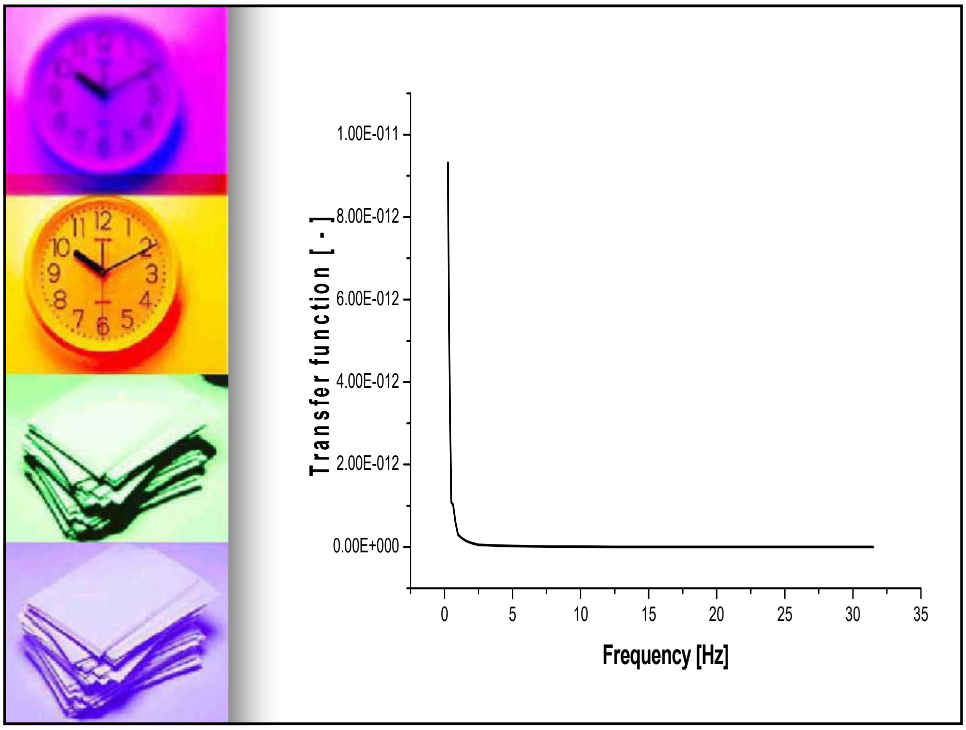


$$I_{1!} = I_1$$
$$I_{2.1!} = I_2 - L_{1.2} \cdot I_{2.1}$$
$$I_{3.2!} = I_3 - L_{1.3} \cdot I_1 - L_{2.3} \cdot I_{2.1}$$
$$I_{4.3!} = I_4 - L_{1.4} \cdot I_1 - L_{2.4} \cdot I_{2.1} - L_{3.4} \cdot I_{3.2}$$

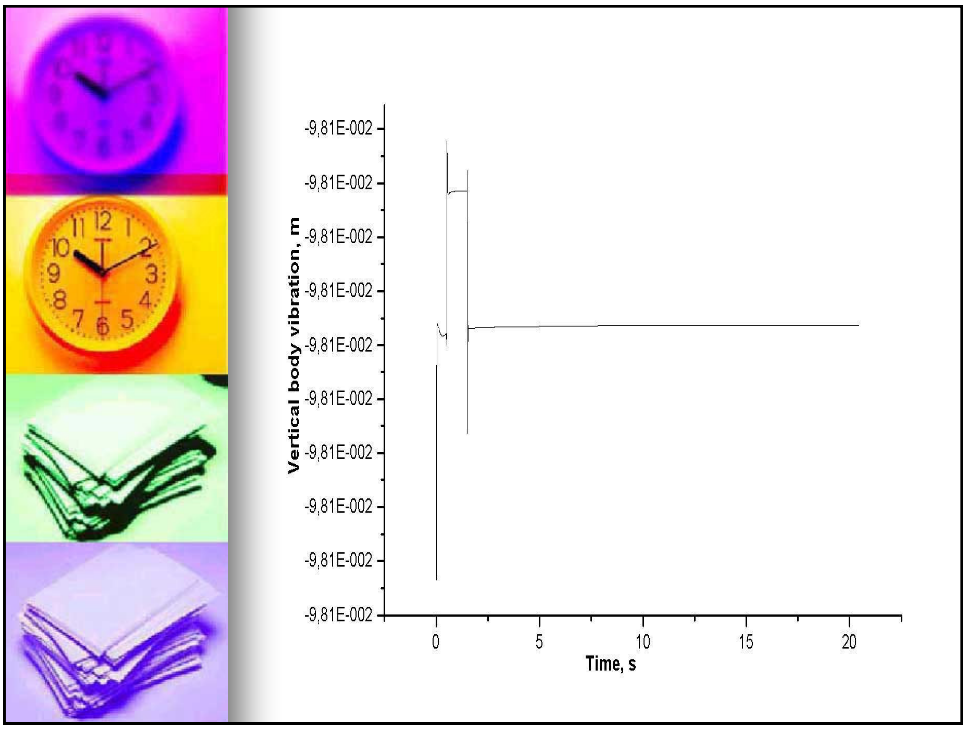



Transfer function [-]
1.60E-011
1.40E-011
1.20E-011
1.00E-011
8.00E-012
6.00E-012
4.00E-012
2.00E-012
0.00E+000
-2.00E-012
0
5
10
15
20
25
30
35
Frequency [Hz]

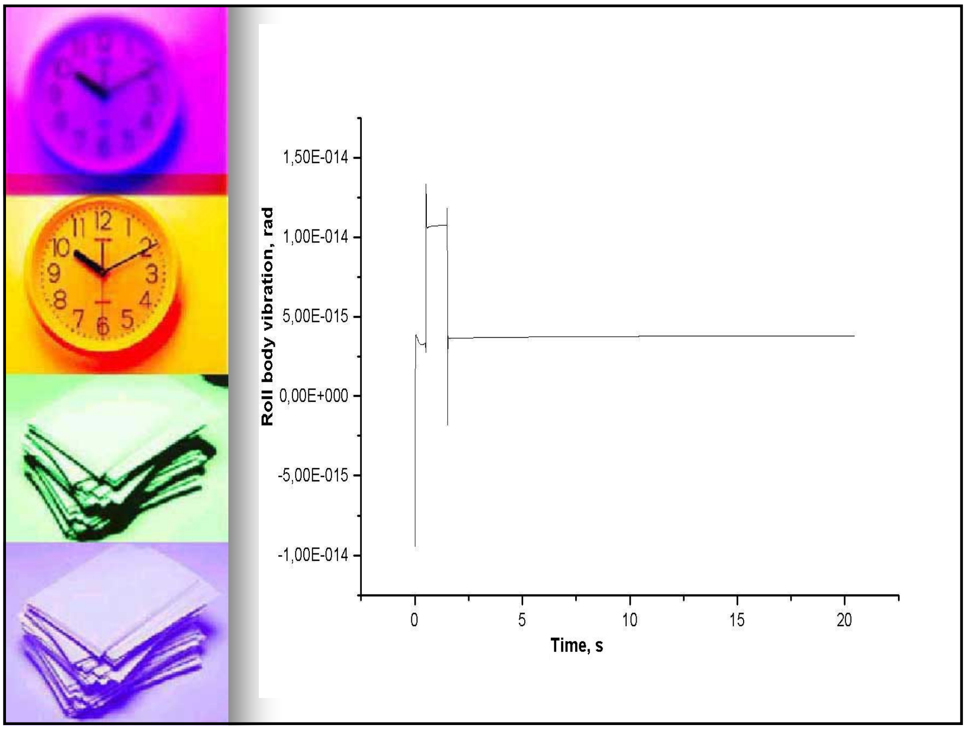

Transfer function [-]
2.00E-011
1.50E-011
1.00E-011
5.00E-012
0.00E+000
0
5
10
15
20
25
30
35
Frequency [Hz]

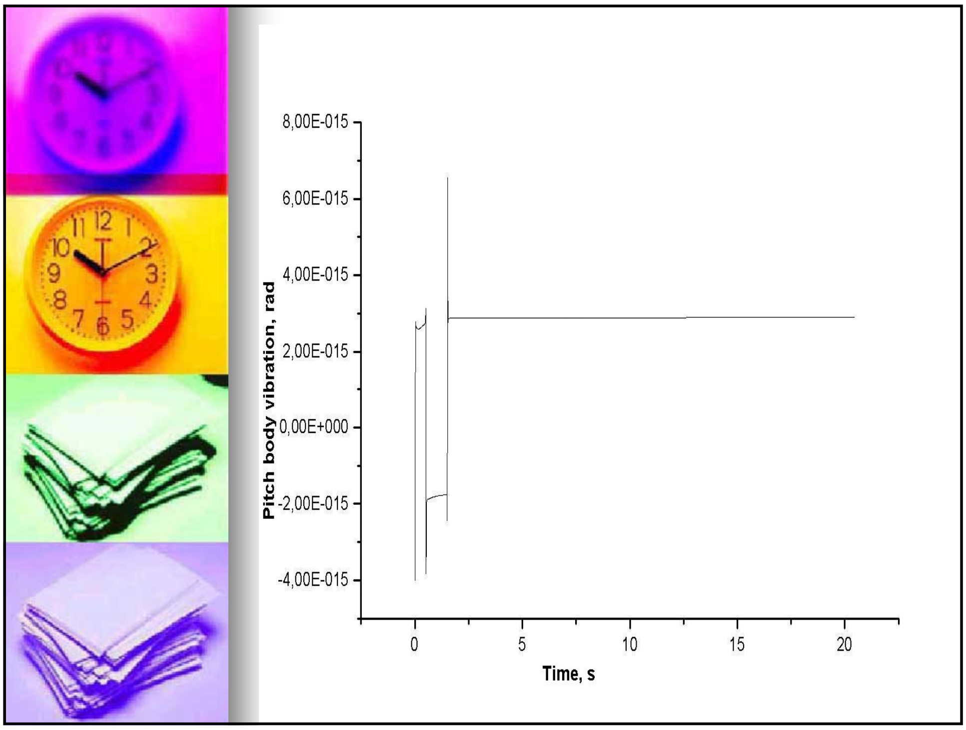


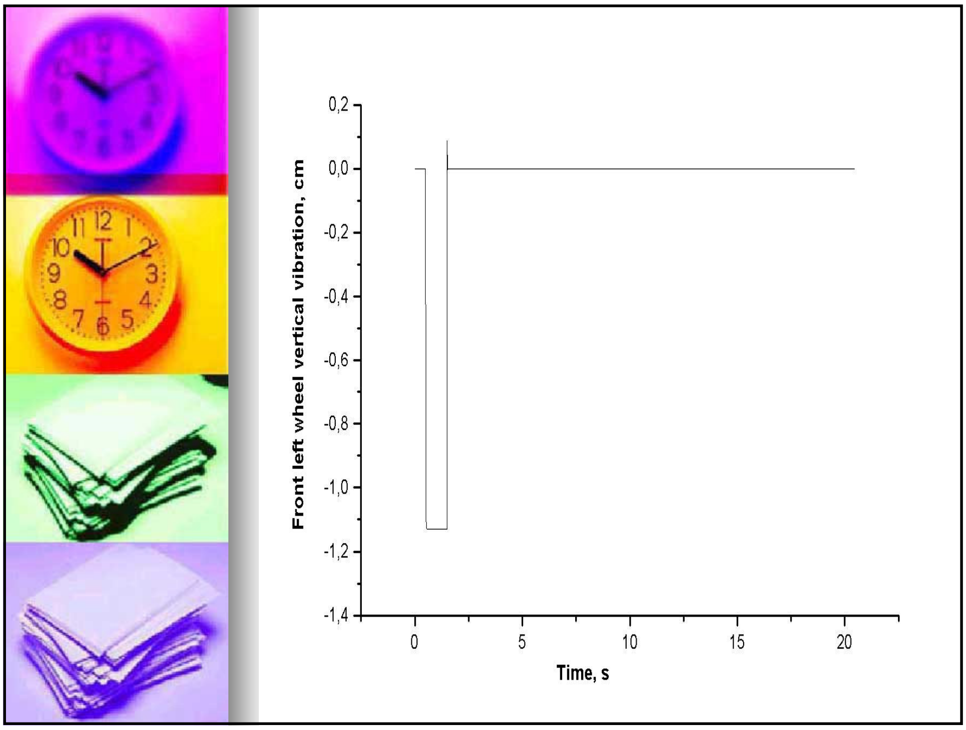
1.00E-011
8.00E-012
6.00E-012
4.00E-012
2.00E-012
0.00E+000
Transfer function [-]
0
5
10
15
20
25
30
35
Frequency [Hz]



-9,81E-002
Vertical body vibration, m
0
5
10
15
20
Time, s


1,50E-014
1,00E-014
5,00E-015
0,00E+000
-5,00E-015
-1,00E-014
Roll body vibration, rad
0
5
10
15
20
Time, s


8,00E-015
6,00E-015
4,00E-015
2,00E-015
0,00E+000
-2,00E-015
-4,00E-015
Pitch body vibration, rad
0
5
10
15
20
Time, s


0,2
0,0
-0,2
-0,4
-0,6
-0,8
-1,0
-1,2
-1,4
Front left wheel vertical vibration, cm
0
5
10
15
20
Time, s


ПОСЛЕ ПРЕДАВАЊА........

Универзитет у Београду
Машински факултет
Одсек за системе наоружања

Мерење ефикасности војних технологија и модерних војних организација

Проф др Момчило Милиновић
Универзитет у Београду
Машински Факултет Београд,
Катедра за Системе наоружања
Краљице Марије 16,11000Београд
email: mmilinovic@mas.bg.ac.rs

предавања АИНС
24.06.2015.

Шта је пресудно да се војска сматра успешном и ефикасном –генерално

ХИПОТЕЗЕ КАО МОГУЋИ ОДГОВОРИ

1-Пресудни политички значај успешне одбране је интерагенцијски МЕЂУНАРОДНИ И ДОМАЋИ ПРИСТУП

2-Технолошка опремљеност свих чинилаца одбране суштински одређује ово питање а не само величина државе и нације

Задаци војске

- *1* ***БОРБЕНЕ УЛОГЕ*** у основи, своде се на ПОРАЗ непријатеља
- улога које војска извршава принудом
- **<u>D3& I –</u>способности**
- **ДИСЛОКАЦИЈА, УНИШТЕЊЕ, ДЕЗИНТЕГРАЦИЈА И ИЗОЛАЦИЈА**

2 ***УЛОГЕ СТАБИЛИЗАЦИЈЕ И ОДРЖАВАЊА МИРА***

<u>CCIS-</u> способности

*1.*ПРИНУДА која користи војну силу ради успостављања контроле и одвраћања непријатеља од акције.

- *2.* УПРАВЉАЊЕ ради успостављања цивилног поретка што подразумева заштиту границе, путева, осетљивих положаја и слично.
- *3.*УТИЦАЈ на формирање ставова и мишљења цивилног становништва кроз информационо ангажовање присуство и спровођење акција обавештавања .
- *4.* ПОДРШКА успостављању и јачању услова неопходних за формирања државних и законодавних инструмената цивилног друштва и функционисања националне власти.
- *3* ***ФУНКЦИЈА ЦИВИЛНЕ ЗАШТИТЕ***
- ***СЕН-* способности**

Савремене војне снаге -Преглед-Питања

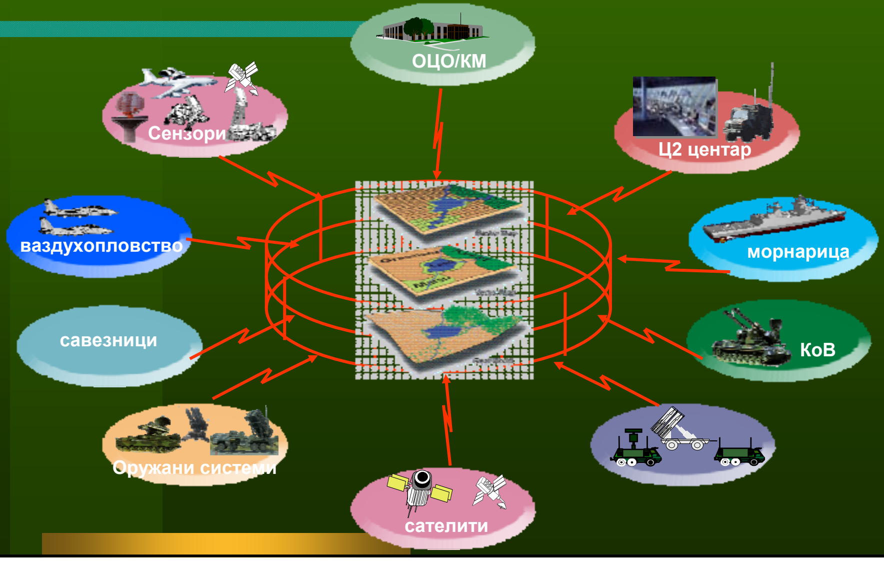
- Два различита али уравнотежена принципа опште војне организације никада раније нису била толико истакнута као у данашње време.
- ВОЈНЕ СНАГЕ ПРОЈЕКТОВАНЕ ЗА КАМПАЊСКО РАТОВАЊЕ– са основним циљевима да штите државну територију или/и да буду употребљене у различитим кризним операцијама.
- ЕКСПЕДИЦИОНЕ СНАГЕ – са основним циљем да хитно и брзо интервенишу у зони одговорности без обзира на територијални принцип и да буду одрживе одговарајуће време у циљу заштите националних али и здружених међународних интереса

последице

- ИНТЕРОПЕРАБИЛНОСТ
- НАЦИОНАЛНА ОПЕРАБИЛНОСТ – ИНТРАОПЕРАБИЛНОСТ
- ИНТЕРВИДОВСКА ЗДРУЖЕНА ЕФИКАСНОСТ

Предуслови интер и интра-операбилности

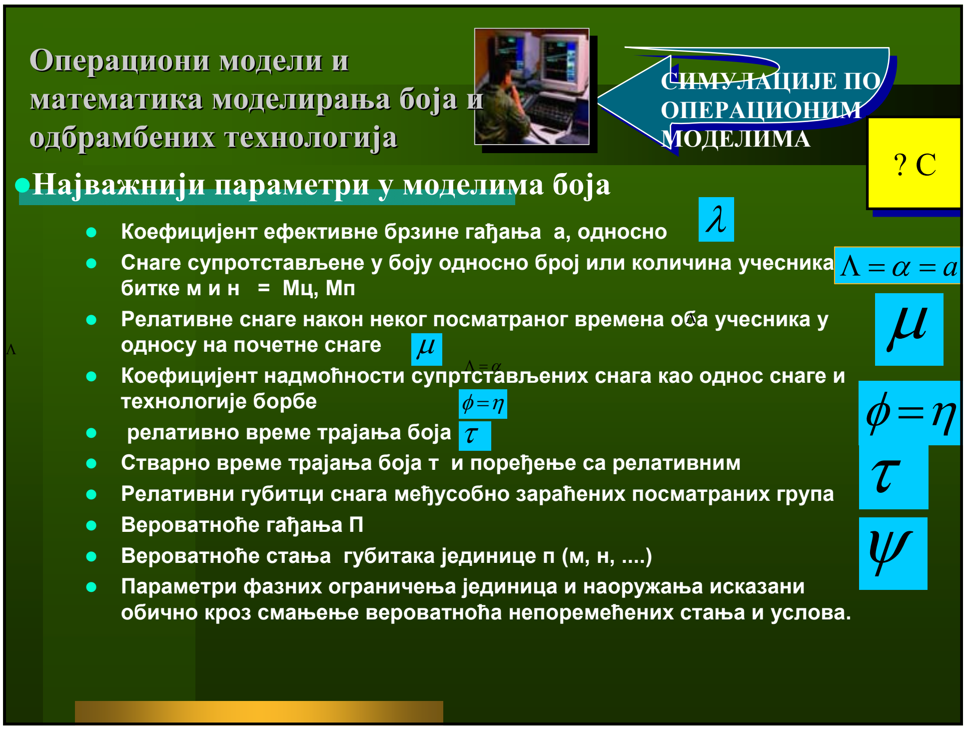
КОНЦЕПТ МРЕЖНО- ЦЕНТРИЧНОГ РАТОВАЊА




Предуслови
•УТВРДИТИ НОВЕ ФУНКЦИЈЕ И НАЗИВЕ ЗА ЈЕДИНСТВО ОПЕРАЦИЈА
•УТВРДИТИ КРИТЕРИЈУМЕ ЗА ВРЕДНОВАЊЕ ОПЕРАЦИЈА
Интервидовски концепт рата
У коме учествују
копнени
ваздухопловни
поморско-морнарички
?
Поставља питање какав је
Групни концепт ватрене моћи
Здружено бојно поље
ОЦО/КМ
ОЦ система ПВО
РС СД


1. Јединственом третирању појма ватрене моћи КоВ и РВ.
2. Јединству критеријума, и норматива употребе ваздухопловне и копнене муниције.
3. Јединственом поређењу ефикасности дејстава, из ваздуха и са копна.
5. Јединству начина деловања јединица КоВ-а и РВ –а за копнену ватрену подршку.
копнени
ваздухопловни
rasturanja pogodaka pojedinog oruđa
Srednja putanja pojedinog oruđa
РВ
КоВ


ОБЈЕКТИ СИМУЛАЦИЈЕ СИСТЕМА ОДБРАНЕ И МЕРЕЊЕ ЕФИКАСНОСТИ КЛАСИЧНИМ ПОСТУПЦИМА
БОРБЕНЕ ПЛАТФОРМЕ
РОБОТИЗОВАНА НАОРУЖАНА ВОЗИЛА И ЛЕТЕЛИЦЕ
ОРУЖЈЕ
ИНТЕЛИГЕНТНА МУНИЦИЈА ДЕЈСТВО НА ЦИЉУ РАКЕТЕ
СЕНЗОРИ
КОМ ИНФ СИСТЕМ И СУВ


Операциони модели и математика моделирања боја и одбрамбених технологија
СИМУЛАЦИЈЕ ПО ОПЕРАЦИОНИМ МОДЕЛИМА
? C
Најважнији параметри у моделима боја
Коефицијент ефективне брзине гађања а, односно λ
Снаге супротстављене у боју односно број или количина учесника битке м и н = Мц, Мп $\Lambda=\alpha=a$
Релативне снаге након неког посматраног времена оба учесника у односу на почетне снаге μ
Коефицијент надмоћности супртстављених снага као однос снаге и технологије борбе $\phi=\eta$
релативно време трајања боја τ
Стварно време трајања боја т и поређење са релативним
Релативни губитци снага међусобно зарађених посматраних група
Вероватноће гађања П
Вероватноће стања губитака јединице п (м, н, ...)
Параметри фазних ограничења јединица и наоружања исказани обично кроз смањење вероватноћа непоремећених стања и услова.
μ
$\phi=\eta$
τ
ψ

ДЕТЕРМИНИСТИЧКО МОДЕЛИРАЊЕ ОДНОСА СНАГА У ТОКУ И НА КРАЈУ БОЈА

$$\frac{dM_C}{dt} = -M_P \cdot \alpha_P \qquad \frac{dM_P}{dt} = -M_C \cdot \alpha_C$$

ОПШТИ - ЛАНКАСТЕРОВ МОДЕЛ

1. ДОБРО ПРИПРЕМЉЕН БОЈ ДИРЕКТНО ГАЂАЊЕ
2. НЕПРИПРЕМЉЕН БОЈ ИНДИРЕКТНО ГА
3. МЕШОВИТО ГАЂАЊЕ

$$\eta = \phi_0 = O_S\sqrt{\beta} = \frac{\alpha_C \cdot N_C^{\,2}}{\alpha_P \cdot N_P^{\,2}} \cdot \sqrt{\frac{\alpha_C}{\alpha_P}}$$

ГЛАВНИ ЦИЉ МОДЕЛИРАЊА ОДРЕДИТИ И ПРОЦЕНИТИ ОДНОС КОЕФИЦИЈЕНТА НАДМОЋНОСТИ ФИ ИЛИ ГУБИТАКА ПСИ ПРЕМА РЕЛАТИВНОМ ОДНОСУ СНАГА СУКОБЉЕНИХ ЈЕДИНИЦА МИ

$$\phi_o^{\,2} = f(\mu_{B,}\mu_R)$$

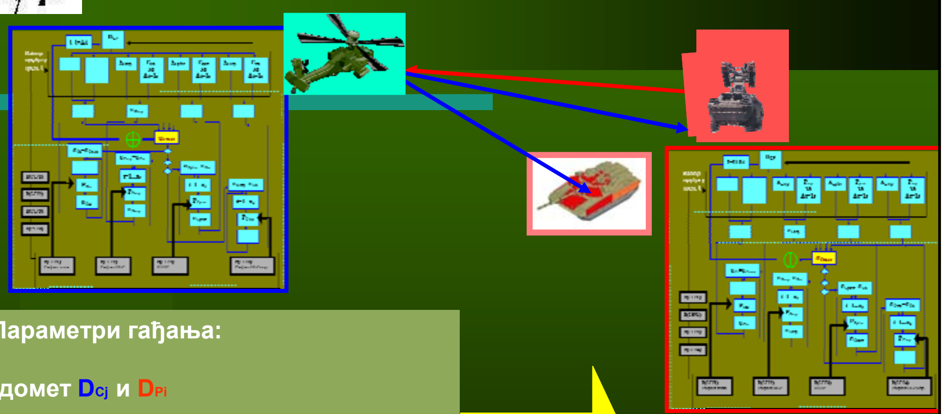
$$\alpha_C = \lambda_C \cdot P_C$$

ВЕРОВАТНОСТНИ МОДЕЛИ – МАРКОВЉЕВИ

$$\frac{dP_{k,0}(t)}{dt} = P_{k,1}(t) \cdot k \cdot \alpha_C \qquad \frac{dP_{0,1}(t)}{dt} = P_{1,1}(t) \cdot 1 \cdot \alpha_P$$

Резултат је вероватноћа у времену или на интервалу која директно исказује квалитет технологије оружја и муниције а у даљем наставку моделирања и технологију припреме ватре ако се усвоји подједнако коришћење људског и организационог фактора

Избор наоружања и концепт динамике гађања Међусобно одабраних платформи



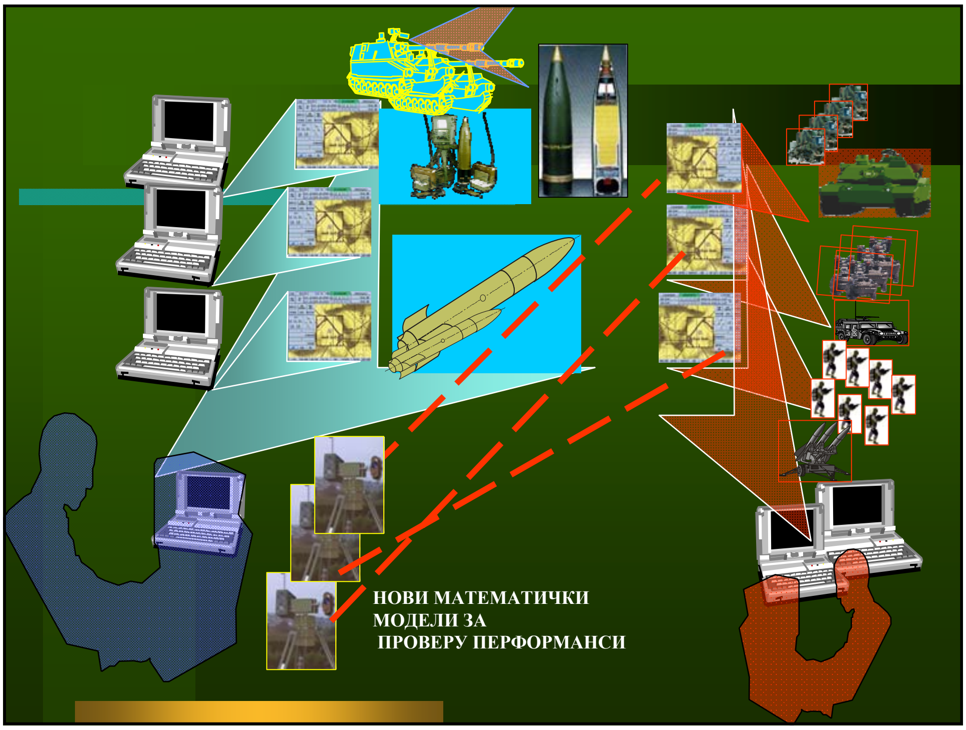
Параметри гађања:

- домет D_{Cj} и D_{Pi}
- борбена брзина гађања λ_{Cj} и λ_{Pi} оруђа
- Грешка погодка на домету за свако појединачно оруђе CEP CEP

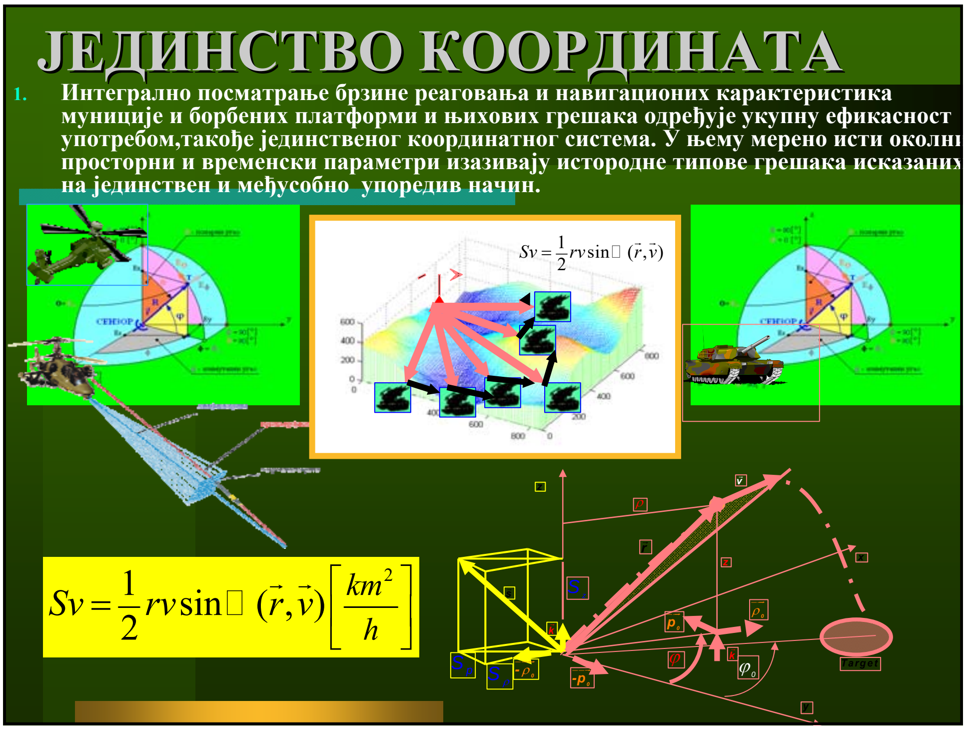
α_{Cmax}

α_{Pmax}

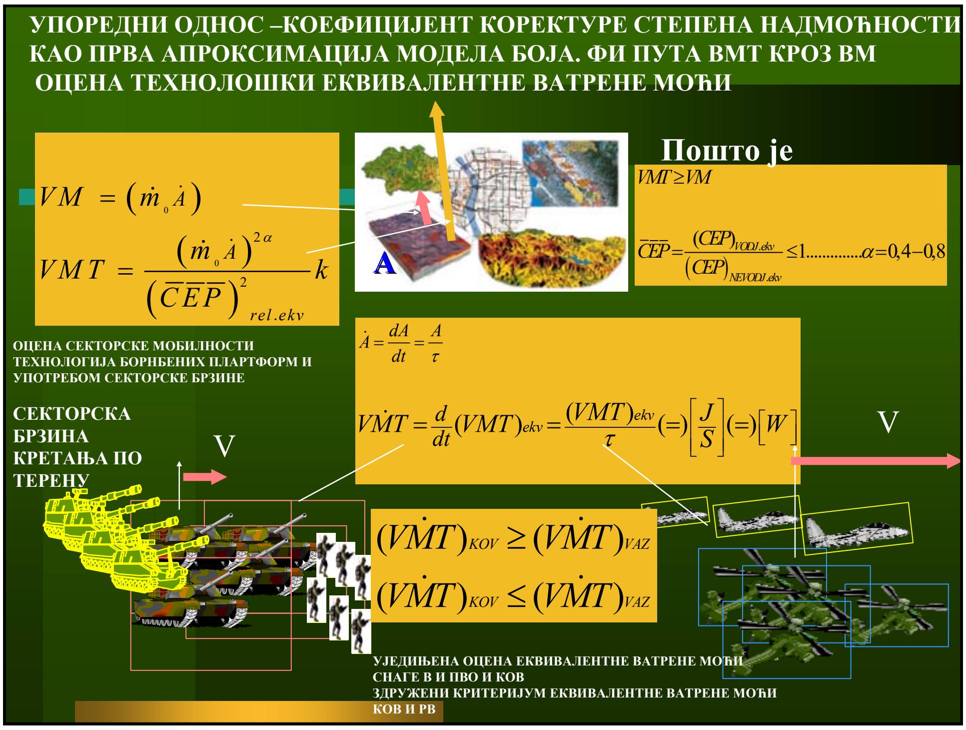
Изабрано оружје на Копненој или Ваздушној платформи


НОВИ МАТЕМАТИЧКИ
МОДЕЛИ ЗА
ПРОВЕРУ ПЕРФОРМАНСИ


ПРЕДУСЛОВИ ЗА ЈЕДИНСТВО
ПРОСТОРНОГ КОМАНДОВАЊА , ПЛАНИРАЊА и
ДЕЛОВАЊА
?
1 - ЈЕДИНСТВО КООРДИНАТА
2. ЈЕДИНСТВО ВАТРЕНЕ МОЋИ
- планирање ватрене моћи , густине и ефикасности ватре, ради интервидовског еталонирања снага


ЈЕДИНСТВО КООРДИНАТА
1. Интегрално посматрање брзине реаговања и навигационих карактеристика муниције и борбених платформи и њихових грешака одређује укупну ефикасност употребом,такође јединственог координатног система. У њему мерено исти околни просторни и временски параметри изазивају истородне типове грешака исказаних на јединствен и међусобно упоредив начин.
СЕНЗОР
$Sv = \frac{1}{2} rv \sin (\vec{r}, \vec{v})$
$Sv = \frac{1}{2} rv \sin (\vec{r}, \vec{v}) \left[\frac{km^2}{h} \right]$
Target


7j ЈЕДИНСТВО ВАТРЕНЕ МОЋИ
ОПШТИ ПОКАЗАТЕЉ СНАГЕ ВОЈНЕ ЈЕДИНИЦЕ
Ватрена моћ еквивалентне јединице
VM= $\dot{m}_0^{ek} \cdot \dot{A}$ $\left[\frac{kgproj}{s}\right]\left[\frac{m^2}{s}\right](=)\left[\frac{t-TNT}{h}\right]\left[\frac{km^2}{h}\right](=)[J](=)[MWh]$
енергија војне јединице разматраног типа за жељени заузети или одбрањени простор у жељеном времену C
– за једнородну формацију $\dot{m}_0 = \lambda N_{oruđa} m_e$
– за вишеродну $\dot{m}_0^{ekv} = \sum_1^n m_{0_i} N_{0_i} \beta j$
– сведено на еталон калибре са придодељеним тежинским факторима у току свођења по експертској матици за j= +-9 селективно
– ТЕЖИНСКИ ФАКТОР ЕКВИВАЛЕНТНОГ ОРУЖЈА И МУНИЦИЈЕ
$\beta \geq 1 \quad \beta \leq 1$


УПОРЕДНИ ОДНОС –КОЕФИЦИЈЕНТ КОРЕКТУРЕ СТЕПЕНА НАДМОЋНОСТИ КАО ПРВА АПРОКСИМАЦИЈА МОДЕЛА БОЈА. ФИ ПУТА ВМТ КРОЗ ВМ ОЦЕНА ТЕХНОЛОШКИ ЕКВИВАЛЕНТНЕ ВАТРЕНЕ МОЋИ
$VM = (\dot{m}_0 \dot{A})$
$VMT = \frac{(\dot{m}_0 \dot{A})^{2\alpha}}{(\overline{CEP})^2_{rel.ekv}} k$
A
Пошто је
$VMT \geq VM$
$\overline{CEP} = \frac{(CEP)_{VODJ.ekv}}{(CEP)_{NEVODJ.ekv}} \leq 1 .... \alpha = 0{,}4 - 0{,}8$
ОЦЕНА СЕКТОРСКЕ МОБИЛНОСТИ ТЕХНОЛОГИЈА БОРНБЕНИХ ПЛАРТФОРМ И УПОТРЕБОМ СЕКТОРСКЕ БРЗИНЕ
$\dot{A} = \frac{dA}{dt} = \frac{A}{\tau}$
$V\dot{M}T = \frac{d}{dt}(VMT)_{ekv} = \frac{(VMT)_{ekv}}{\tau} (=) \left[\frac{J}{S}\right] (=) [W]$
СЕКТОРСКА БРЗИНА КРЕТАЊА ПО ТЕРЕНУ
V
V
$(V\dot{M}T)_{KOV} \geq (V\dot{M}T)_{VAZ}$
$(V\dot{M}T)_{KOV} \leq (V\dot{M}T)_{VAZ}$
УЈЕДИЊЕНА ОЦЕНА ЕКВИВАЛЕНТНЕ ВАТРЕНЕ МОЋИ СНАГЕ В И ПВО И КОВ
ЗДРУЖЕНИ КРИТЕРИЈУМ ЕКВИВАЛЕНТНЕ ВАТРЕНЕ МОЋИ КОВ И РВ

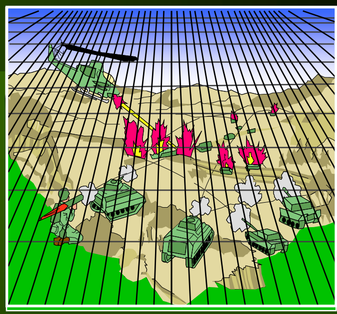

ЗАХТЕВА НОВУ ОРГАНИЗАЦИЈУ ДЕЛОВА ВОЈСКЕ на бази МОДУЛАРНИХ СНАГА КРОЗ ОТВОРЕНЕ СТРУКТУРЕ организоване од МАЊИХ ВОЈНИХ ЈЕДИНИЦА КАО ДЕЛОВА ИЛИ ЦЕЛИНЕ
КОНЦЕПТ БОРБЕНИХ ГРУПА
COMPANY BG 200++ Commander S1
INFORMATION INTELIGENCE AND CIVIL LINKS ELEMENT
Command SERVICE ELEMENTS SQD
Joint tactical operation element links
Ground
Air
INFANTRY RIFFLE SQD OR OTHER DIRECT MISSION UNITS
SPECIAL UNITS SCQD AT , POLLICE GUANDERMERY OR SPECAL FORCES UNITS
ACT. ELEMENTS
Indirect fire or EW, NCB Support elements
SUSTAIN. COMBINED LOGISTIC ELEMENTS
DEEP AIR
CLOSED MOBILE ACTIVE
REAR FOCUSED

НОВИ ИЗАЗОВ И ДОПРИНОСИ

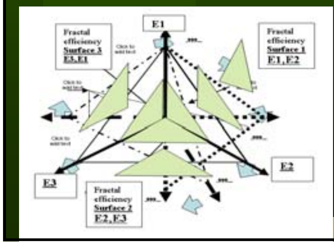
НОВИ КРИТЕРИЈУМ ЈЕДИНСТВЕНЕ ОЦЕНЕ ЕФИКАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЈЕ И ВОЈНЕ ОРГАНИЗАЦИЈЕ

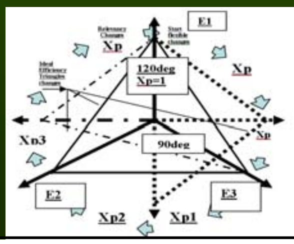
- 1 ефикасно бојево деловање,
- 2 управљање и командовање и
- 3 ефикасну заштиту и обезбеђење.
- А --ватрених могућности наоружања и муниције, односно,
- Б - борбених могућности јединица које са њима

формацијски располажу.



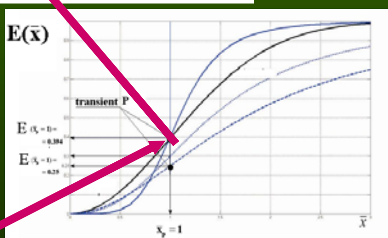
ФРАКТАЛНИ МОДЕЛ ЗА ОЦЕНУ ЕФИКАСНОСТИ ВОЈНИХ ЈЕДИНИЦА СА МОДУЛАРНИМ БОРБЕНИМ ТЕХНОЛОГИЈАМА





ФРАКТАЛНИ ВЕРОВАТНОСНИ МОДЕЛ ФОРМИРАЊА МОДУЛАРНИХ ЈЕДИНИЦА ЗА РАЗЛИЧИТЕ ОПЕРАЦИЈЕ

$$E_i(\bar{x}) = \frac{E_i(\bar{x}_p)\cdot\bar{x}^{\left(\frac{1}{1-2E_i(\bar{x}_p)}\right)}}{E_i(\bar{x}_p)\cdot\bar{x}^{\left(\frac{1}{1-2E_i(\bar{x}_p)}\right)} + \left[1-E_i(\bar{x}_p)\right]\cdot\bar{x}_p^{\left(\frac{1}{1-2E_i(\bar{x}_p)}\right)}}$$



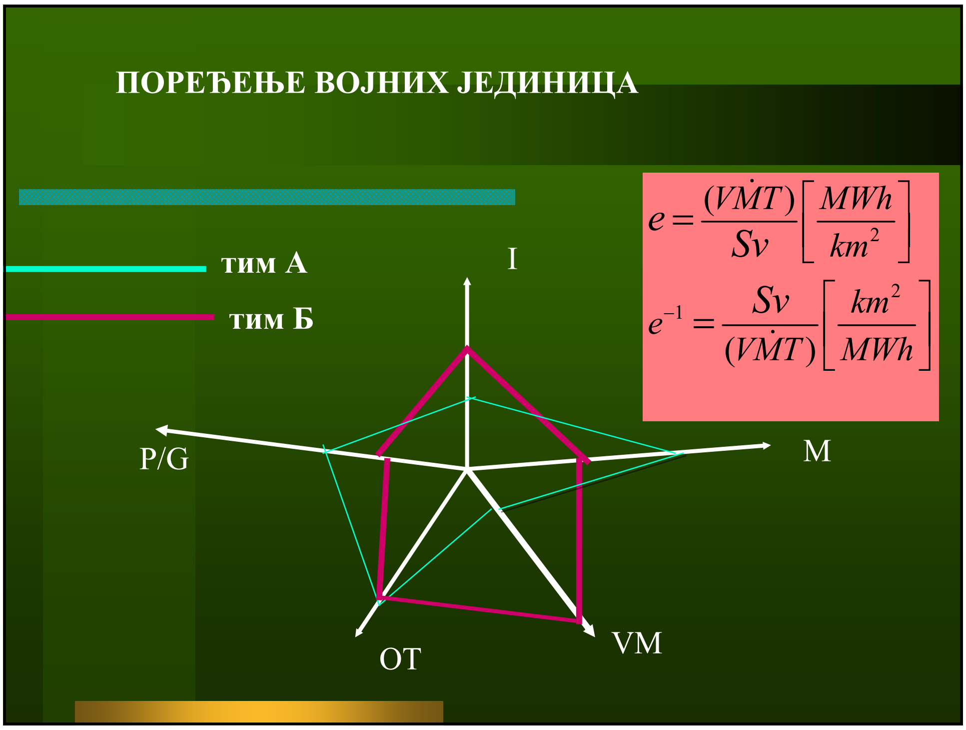
$$\frac{\bar{x}_{ij}}{\bar{x}_p} = \left[\frac{1-E_i(\bar{x}_p)}{E_i(\bar{x}_p)}\left(\frac{E_i(\bar{x}_{ij})}{1-E_i(\bar{x}_{ij})}\right)\right]^{(1-2E_i(\bar{x}_p))}$$

29 %

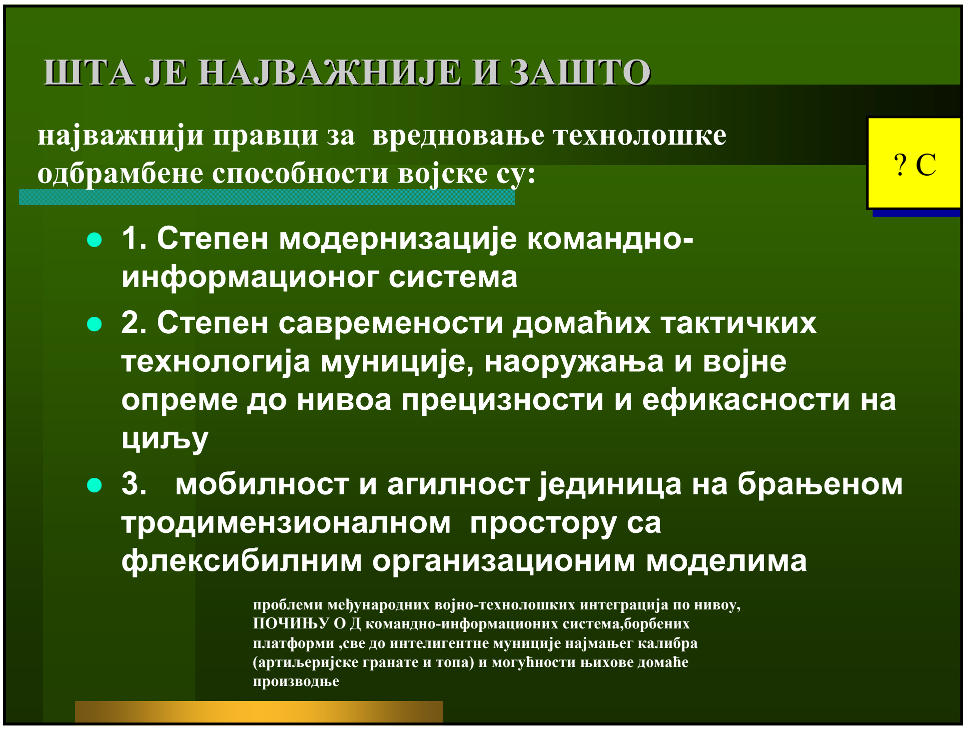

Миодуларност борбених снага
ИНТЕРОПЕРАБИЛНИ МОДЕЛ БОРБЕНЕ ГРУПЕ УКУПНО 236 ЉУДИ
KOMANDIR BG
1. KOMANDNI VOD
KOMANDNO I VA ODELENJE bg
Oficira – 2 Podoficira – 7 Vojnika – 16
UKUPNO – 25 ljudi
INz.ODELJENJ:
Oficira – 0
Podoficir–1 Vojnika – 7 UKUPNO–8
2. VOD ZASTITNI Moto-Strelja~ki
3. VOD VOJNE POLICIJE ATJ ILI SPEC SNAGA
4. VOD OSMATRACKI OBAVESTAJNO I INFORMACOIONI GIS
5. VOD N L O S RAKETE
6. . VOD Logisti~ki
LOGISTI^KI VOD:
Oficira–4
Podoficira – 10
Vojnika– 29
UKUPNO – 49
X 1
X 1
MOTO-STR. VOD:
Oficira – 1
Podoficira – 5
Vojnika – 29
UKUPNO 35 ljudi
SPECIJALNI. VOD:
Oficira – 1
Podoficira – 5
Vojnika 30
UKUPNO – 36 ljudi
INFO VOD. VOD:
Oficira – 1
Podoficira – 5
Vojnika 24 –
CIVILA 10
UKUPNO –40 ljudi
N L O S VOD:
Oficira – 11
Podoficira – 9
Vojnika – 19
UKUPNO – 43 ljudi


ОТВОРЕНЕ СТРУКТУРЕ МАЊИХ ВОЈНИХ МОДУЛАРНИХ СНАГА ЗА ЗДРУЖЕНЕ ЗАДАТКЕ ВОЈСКЕ И ТО D3& I, CCIS, и CEH кроз различите способности
Све ово ултимативно условљава развој здружених ,
ЦИВИЛНИХ И ВОЈНИХ КАПАЦИТЕТА КОЈИ ЋЕ ДЕЛИТИ ОДГОВОРНОСТ у одбрани, мировним операцијама и задацима безбедносног ризика цивилног друштва.
Учешће ЗДРУЖЕНИХ ВОЈНИХ СНАГА са другим наоружаним и ненаоружаним цивилним учесницима и њиховим организованим снагама, као што су:
цивилна заштита
, жандармерија,
полиција,
специјалне снаге


Четни борбени тим за вишенаменске операције
2. Информативни центар за анализу и фузију података
1. Заједнички штаб команда
COMPANY commander BG 200 personel and solders
JOINT MILLITARY-CIVIL STAF-squad level mixed civil platoons ,command protection platoon ,CIED plt.
Teritorial control mission elements
4. ПОСРЕДНА ПОДРШКА ВОЈНЕ СНАГЕ
Цивилне снаге НЕПОСРЕДНО ДЕЛОВАЊЕ
5. ЛОГИСТИЧКА ПОДРШКА-МЕШОВИТЕ СНАГЕ
3. Снаге за директно анагажовање цивилне-војне


ПОРЕЂЕЊЕ ВОЈНИХ ЈЕДИНИЦА
$e=\frac{(V\dot{M}T)}{Sv}\left[\frac{MWh}{km^2}\right]$
$e^{-1}=\frac{Sv}{(V\dot{M}T)}\left[\frac{km^2}{MWh}\right]$
тим А
тим Б
I
P/G
M
OT
VM


АГРЕГАТНА ЕНЕРГИЈА МАНЕВРА и ОДБРАНЕ
$(V\dot{M}T)_{KOV} \geq (V\dot{M}T)_{VAZ}$
$(V\dot{M}T)_{KOV} \leq (V\dot{M}T)_{VAZ}$
Pozicije u odnosu na rečne slivove
$Sv = \frac{1}{2} rv \sin\angle(\vec{r},\vec{v}) \left[\frac{km^2}{h}\right]$
SLIV SAVE
SLIV DRINE
MORAVE
SLIV BELOG DRIMA
EGEJSKI SLIV
$e = \frac{(V\dot{M}T)}{Sv}\left[\frac{MWh}{km^2}\right]$
$e^{-1} = \frac{Sv}{(V\dot{M}T)}\left[\frac{km^2}{MWh}\right]$
колико кошта
Специфична планирана
Специфична употребљива
ОПШТИ ПОКАЗАТЕЉ СНАГЕ ВОЈНЕ ЈЕДИНИЦЕ
ЈЕДИНСТВО КООРДИНАТА
ОЦЕНА ТЕХНОЛОШКИ ЕКВИВАЛЕНТНЕ ВАТРЕНЕ МОЋИ


ШТА ЈЕ НАЈВАЖНИЈЕ И ЗАШТО
најважнији правци за вредновање технолошке одбрамбене способности војске су:
? С
1. Степен модернизације командно-информационог система
2. Степен савремености домаћих тактичких технологија муниције, наоружања и војне опреме до нивоа прецизности и ефикасности на циљу
3. мобилност и агилност јединица на брањеном тродимензионалном простору са флексибилним организационим моделима
проблеми међународних војно-технолошких интеграција по нивоу, ПОЧИЊУ О Д командно-информационих система,борбених платформи ,све до интелигентне муниције најмањег калибра (артиљеријске гранате и топа) и могућности њихове домаће производње

Перформансе ВОЈСКЕ

ВИЗИЈА

Одржати способност копненог наоружања И ваздухопловног у 21. веку на нивоу

борбене расположивости,
операција са прец. одговором
- Прилагодљивост различитим условима борбе,
- Борбема жилавост И безбедност
- Високе перформансе
- ОДГОВАРАЈУЋУ ЕФИКАСНОСТ

- Структурна питања технологије оружја
- ефикасност
- Поузданост током производње и одржавања
- По критеријуму цена еф.
- перформансе
- Опције нових технологија
- На нова оружја

?

$$R_{EN}=\frac{\text{cena utrosene municije}}{\text{verovatnoca}-\text{pogodka}\,(x)\,\text{verovatnoca}-\text{unistenja}}$$

$ %

$$R_{EN}=\frac{\text{cena utrosene municije}+\text{kolateralna steta}}{\text{verovatnoca}-\text{pogodka}\,(x)\,\text{verovatnoca}-\text{unistenja}}$$

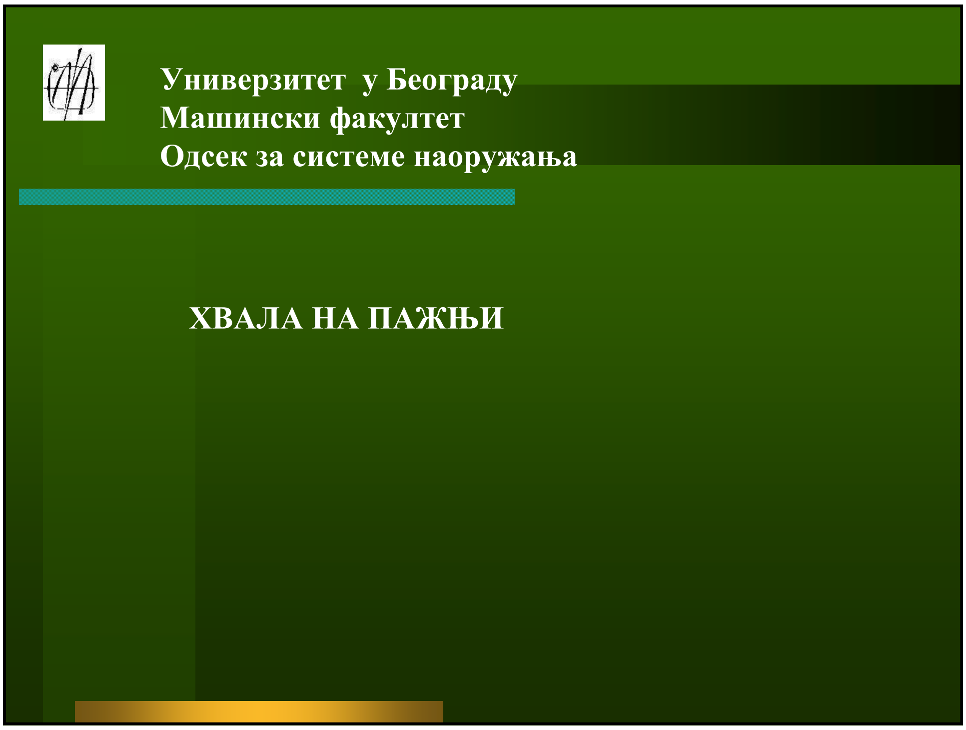
$ % $ %

$$R_{EN}=\frac{\text{cena utrosene municije}+\text{cena vlastitih gubitaka}}{\text{verovatnoca}-\text{pogodka}\,(x)\,\text{procenat}-\text{unistenja}}$$

$ % $ %

$$R_{EN}=\frac{\text{cena utrosene municije}+\text{kolateralna steta}+\text{cena.vl.gubitaka}}{\text{verovatnoca}-\text{pogodka}\,(x)\,\text{verovatnoca}-\text{unistenja}}$$

$ % $ % $ %


Универзитет у Београду
Машински факултет
Одсек за системе наоружања
ХВАЛА НА ПАЖЊИ