

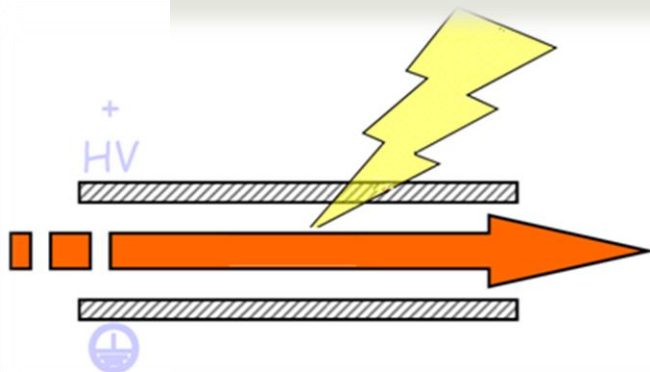


Euroopa Maaelu Arengu  
Põllumajandusfond:  
Euroopa investeeringud  
maapiirkondadesse

# Pulseeritud elektrivälja (PEF) tehnoloogia kasutusvaldkonnad puu- ja köögiviljade töötlemisel

Ramune Bobinaite

Institute of Horticulture, LRCAF



# Massiülekanne toidu töötlemisel

## Toidu säilitamine

Kuivatamine

Osmootiline dehüdratsioon

Külmkuivatamine

Soolamine

Soolvee kasutamine



## Toidu valmistamine

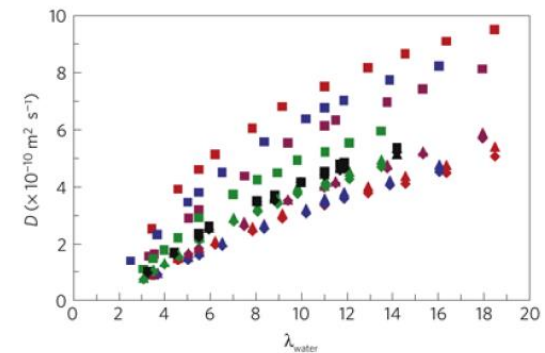
Mahlapressimine

Ekstraktsioon



# Massiülekannet mõjutavad tegurid

- Ühendite kontsentratsiooni erinevus üleminekul kahe faasi vahel
- Materjali struktuurist tingitud takistus massiülekandel (vee difusioonikoefitsient kuivamise jooksul)



# Meetodid massiülekande suurendamiseks

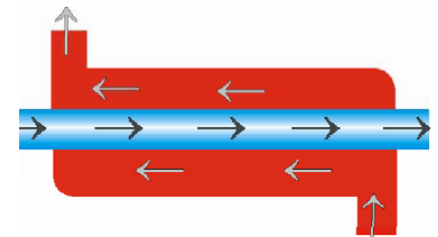
## ■ Biokeemilised (ensüümide kasutus)



## ■ Füüsikalised meetodid

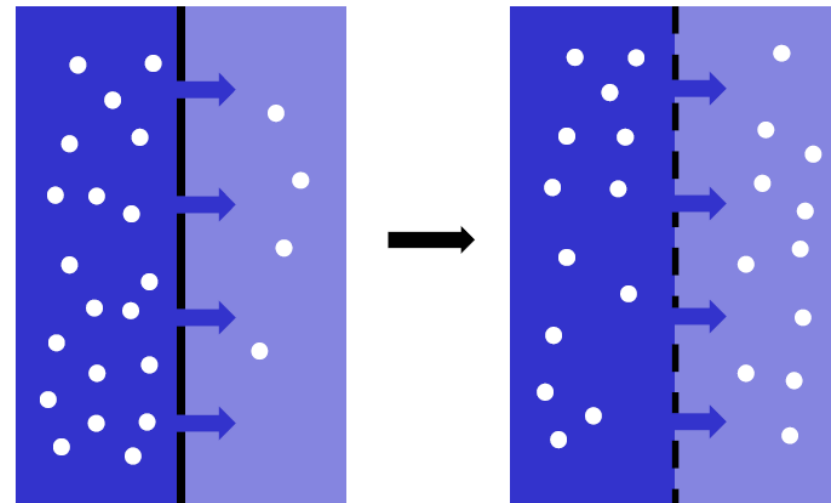
Suuruse vähendamine (lõikamine, purustamine, jahvatamine)

Kuumtöötlemine



# Massiülekande suurendamise eelised

- Suurem saagis
- Toote kõrgem kvaliteet
- Kulude vähenemine



# Traditsioonilistel meetoditel massiülekande suurendamise puudused

- Kõrge temperatuuri kasutamine mõjutab termolabiilseid ja tundlikke biokeemilisi ühendeid, kaotades toiteväärtust ning sensoorseid omadusi



valkude lagunemine,  
mitte-ensümaatilise pruunistumise,  
vitamiinide kadu  
maitseühendite kadu

- Ebasobilike ühendite tekkimine
- Kulude tõus

# Tarbija ootused

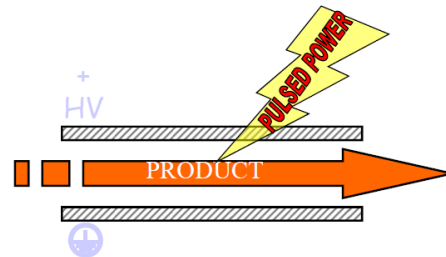
- Kõrgem kvaliteet (parem maitse, tekstuur ning väljanägemine)
- Kättesaadavus
- Värskus
- Looduslikum
- Tervislikum
- Ohutum



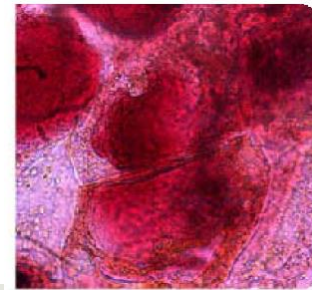
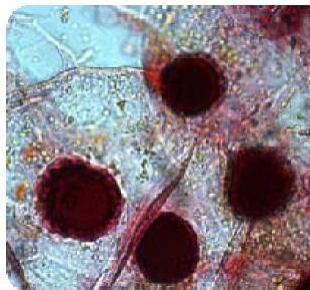
# PEF tehnoloogia

- Pulseeriva elektrivälja meetod tähendab, et elektrodide vahele asetatud tootele rakendatakse järjestikku lühiajalisi tugevaid elektrivälja impulsse

- |
  - $E = 5-50 \text{ kV/cm}$
  - $t = 1-10 \text{ } \mu\text{s}$
  - $f = 1-1000 \text{ Hz}$
  - $W_T = 100-150 \text{ kJ/kg}$



- PEF põhjustab rakumembraani läbitavuse suurenemist, mille tulemusena kaob rakumembraani difusioonibarjäär, seega paraneb massiülekanne

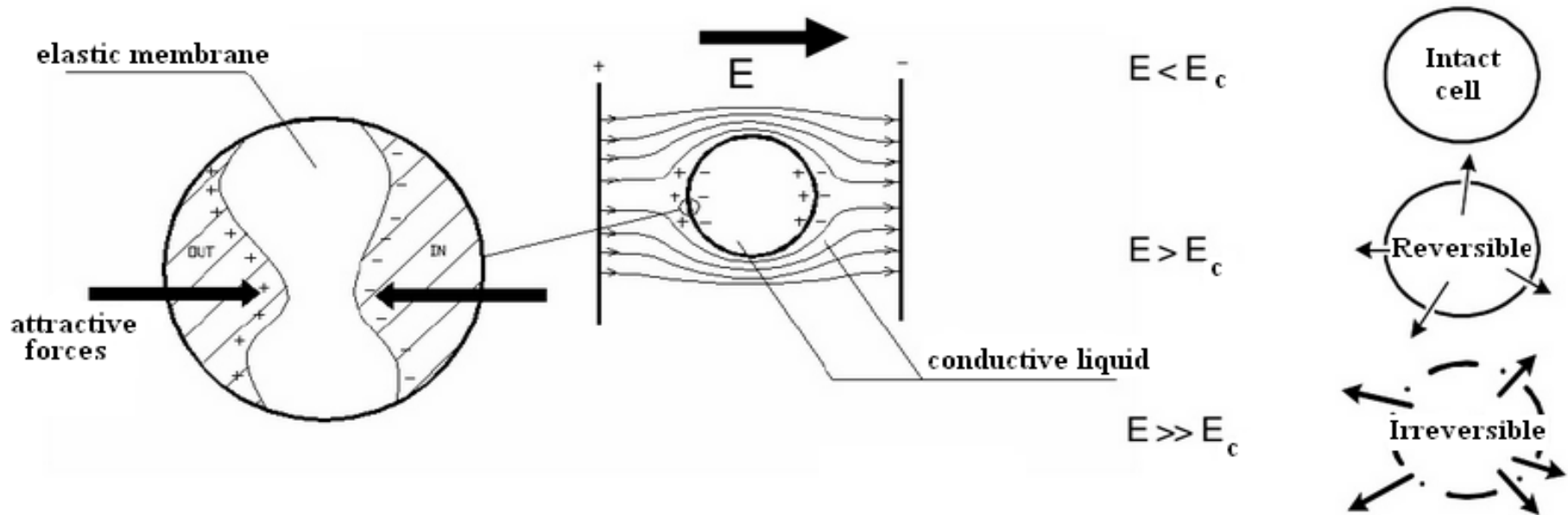




- Pulseeriva elektrivälja tehnoloogia ehk elektroporatsioon kogub järjest enam populaarsust kui alternatiivne töötlemismeetod
- Põhilised eesmärgid: kuumtöötlusteta mikroorganismide hävitamise võimalus; rakkude purustamine massiülekaneks
- PEF eeltöötlust saab kasutada, et suurendada mahlade tootmise saagist, soodustada kuivamisprotsessi ning suurendada taimerakkudes sisalduvate väärtuslike ühendite ekstraktsiooni
- **PEF eelised:**
- Toimib rakumembraani tasandil
- Vältib termolabiilsete ühendite lagunemist, ei teki mittesooovitavaid ühendeid
- Lühike töötlemisaeg, pidevtoimelise protsessi võimalus, madalad energia- ja tootmiskulud

# Mehhanism

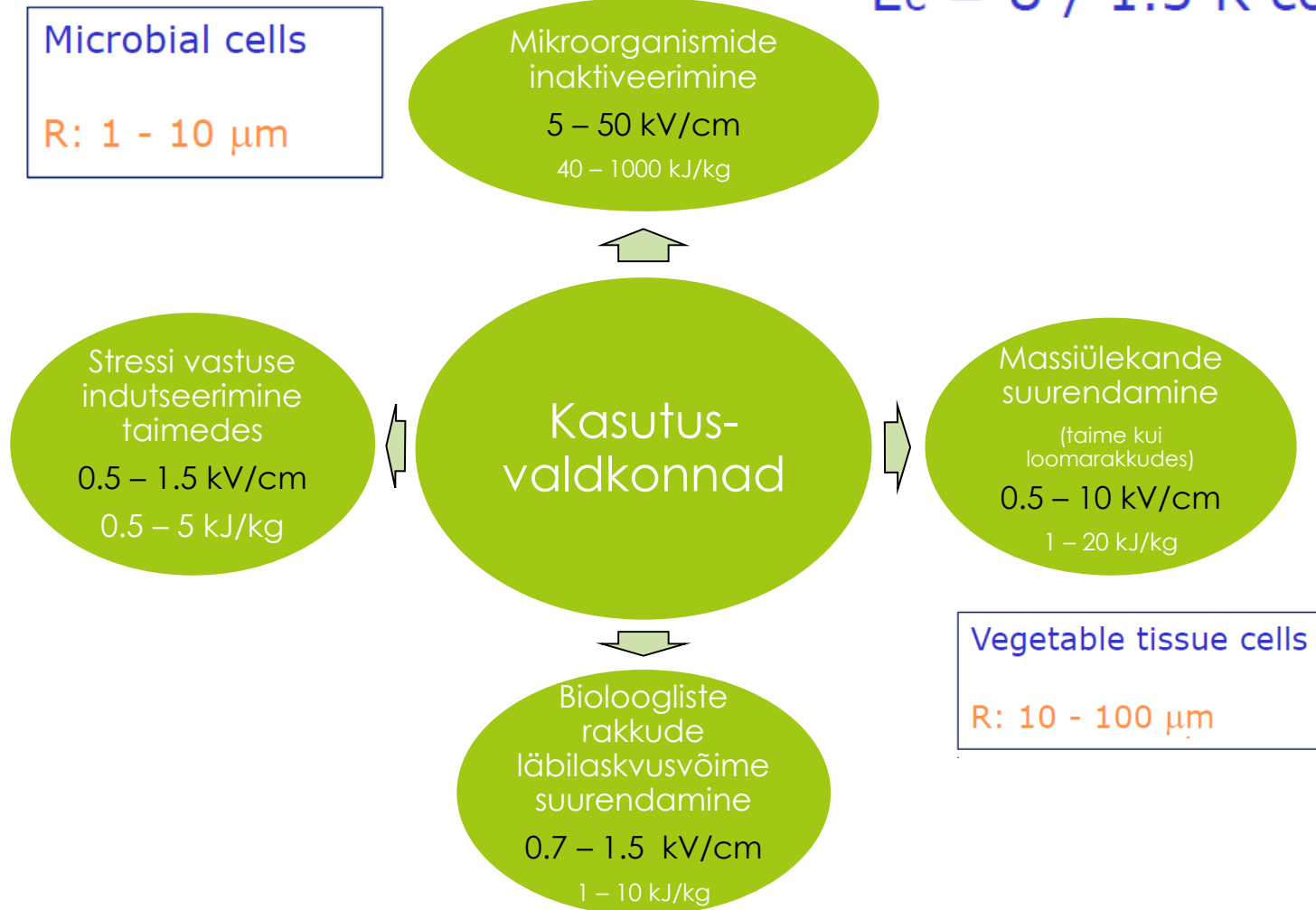
- Kui rakule rakendatakse välist elektrivälja  $E$ , siis indutseeritakse potentsiaalide vahe  $U$  rakumembraani sise- ja välispinna vahel.  $U$  sõltub raku raadiusest  $R$  ning elektrivälja tugevusest  $E$ .



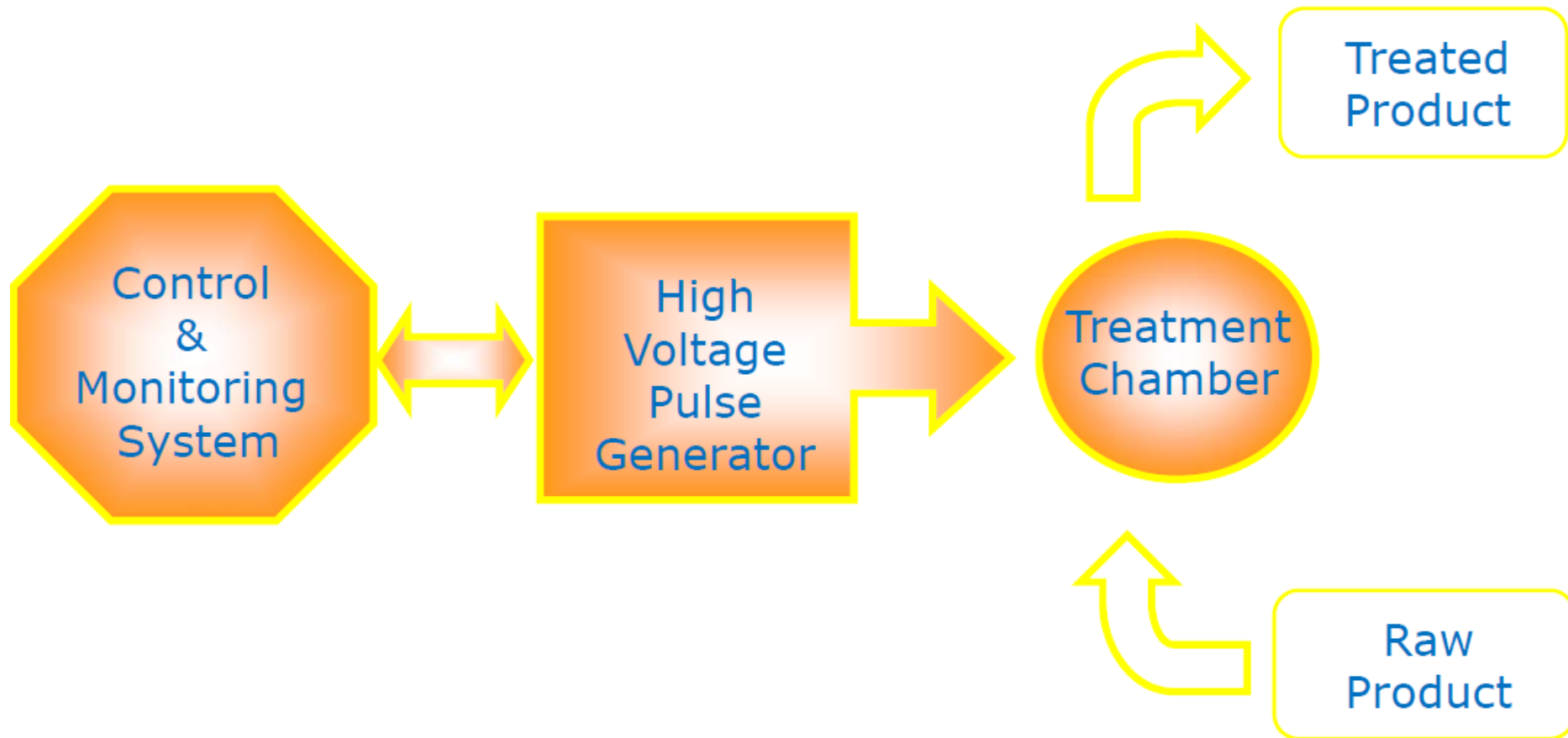
- Elektroporatsiooni toimumiseks on vajalik transmembraanse lävendi ületamist, tüüpiliselt 0.5-1.5 V
- Elektroporatsiooni pöördumus või pöördumatus sõltub välise elektrivälja tugevusest, impulsi võimsusest ja impulsside arvust

# PEF kasutusvõimalused ning tootmisparameetrid

$$E_c = U / 1.5 R \cos \theta$$

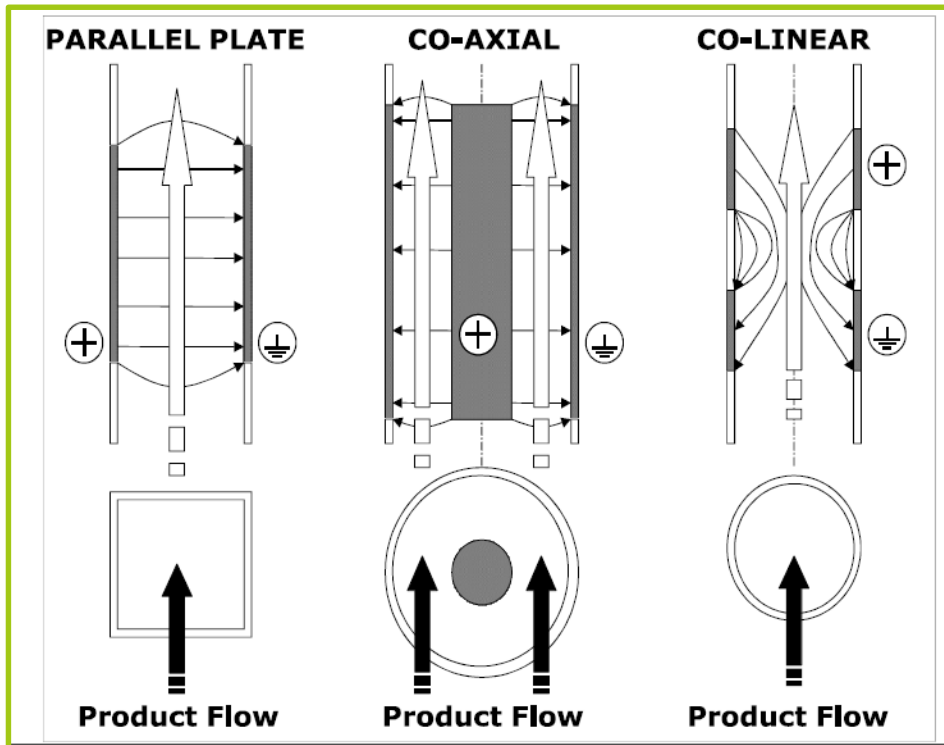


# PEF seadme põhikomponendid toidutöötlemisel

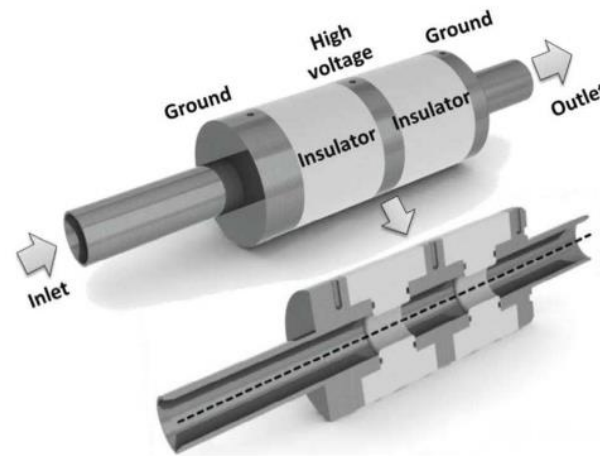


# Töökamber

## Typical Electrodes configuration for food treatment

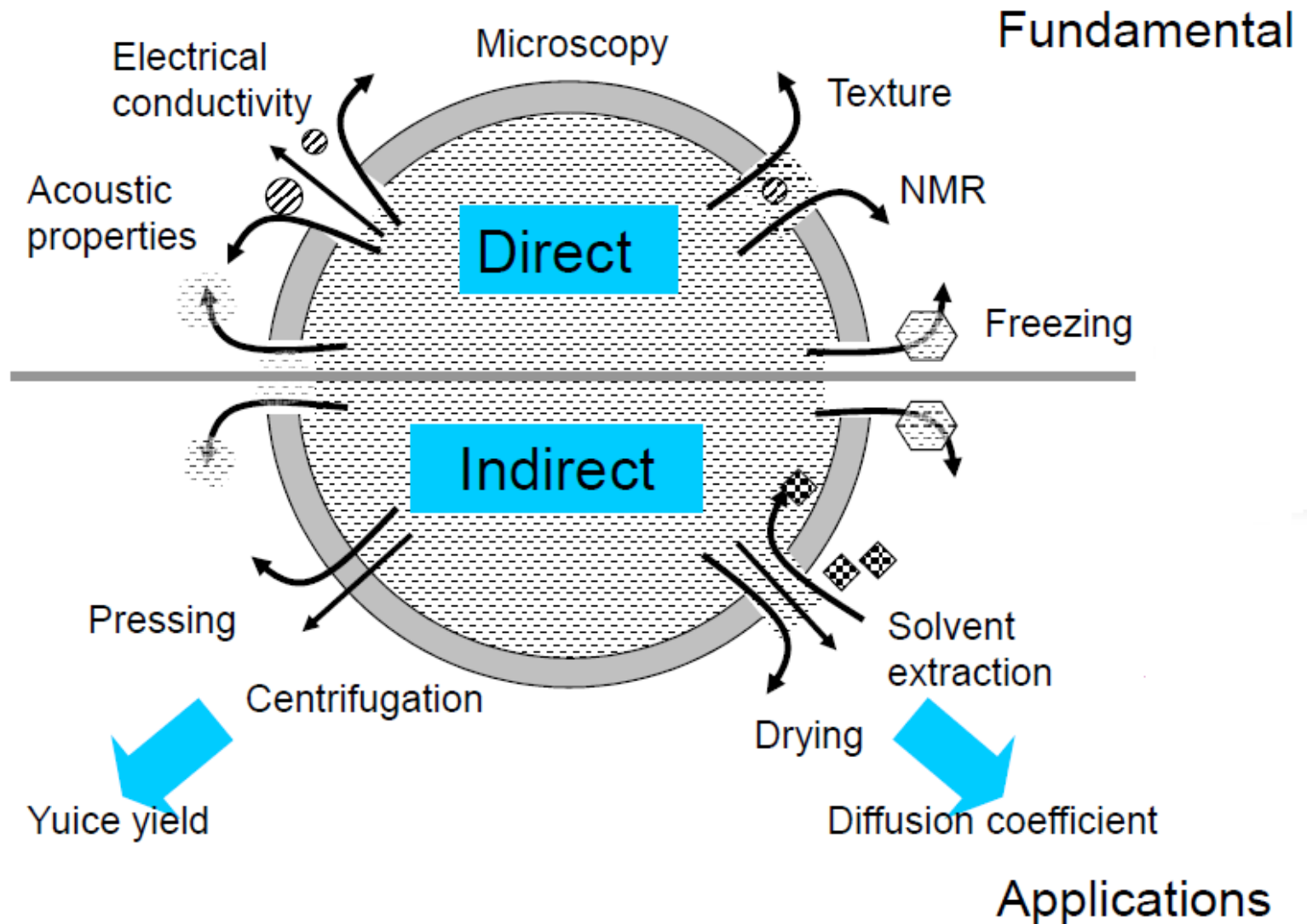


Co-linear chamber



W.Frey - HV Pulse Generation

# PEF mõjul tekkinud kahjustuse ulatuse hindamine



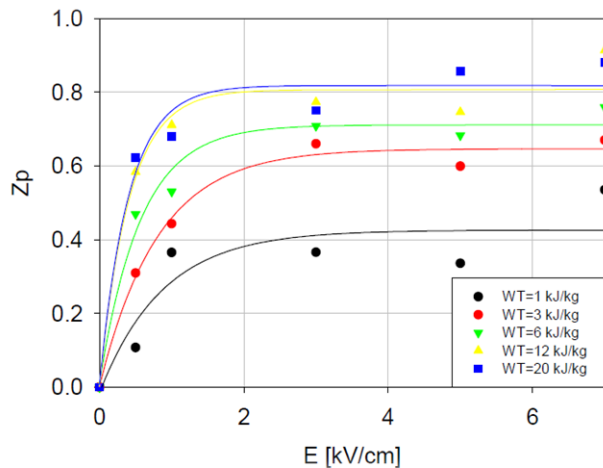
# PEF lagunemise jälgimine

- Elektroporatsiooni tulemusena muutub rakumembraan paremini läbitavaks ja suureneb raku elektrijuhtivus
- Raku lõhustamisindeks ( $Z_p$ ) arvutatakse terve raku ja kahjustatud raku elektrijuhtivuse ( $\sigma$ ) suhtena madalasageduse (1-5 kHz) ja kõrgsageduse (3-50 kHz) piirkondades

$$Z_p = \frac{(\sigma_h^i / \sigma_h^t) \sigma_l^t - \sigma_l^i}{\sigma_h^i - \sigma_l^i}$$

- $Z_p$  iseloomustab tervete ja kahjustatud rakkude suhet taimedes. Tervete rakkude puhul  $Z_p=0$ ; täiesti purustatud rakkude puhul  $Z_p=1$

- Lihtne ja usaldusväärne meetod, ei vaja kallist aparatuuri



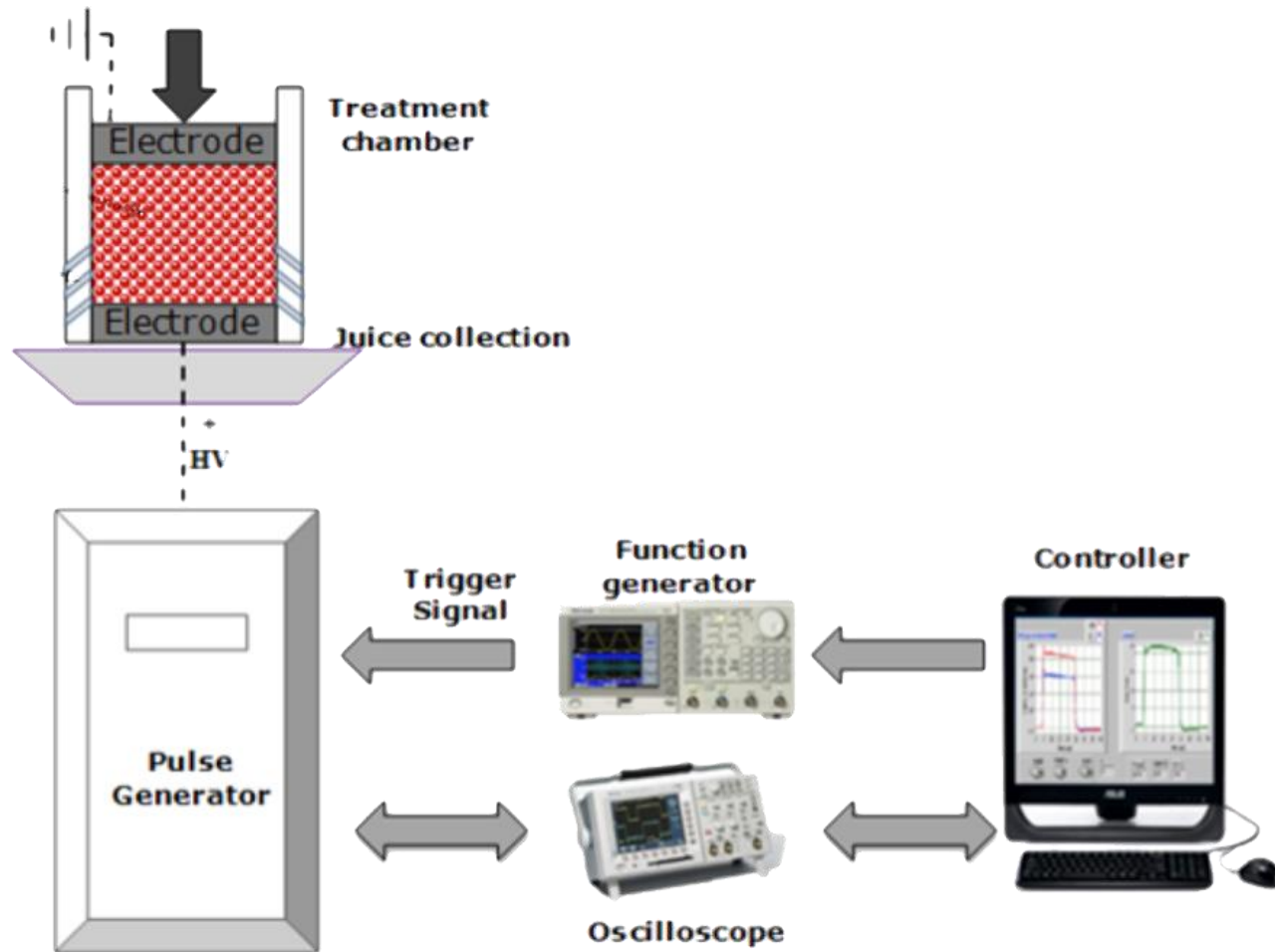
Katsed. Mahlade tootmine ja marjajääkide ekstraktsioon



Uurida PEF eeltöötlemise mõju ekstraktsiooni saagisele ning mahla kvaliteedile ning fenoolsete ühendite ekstraktsioonile marjade jääkproduktidest (presskook)

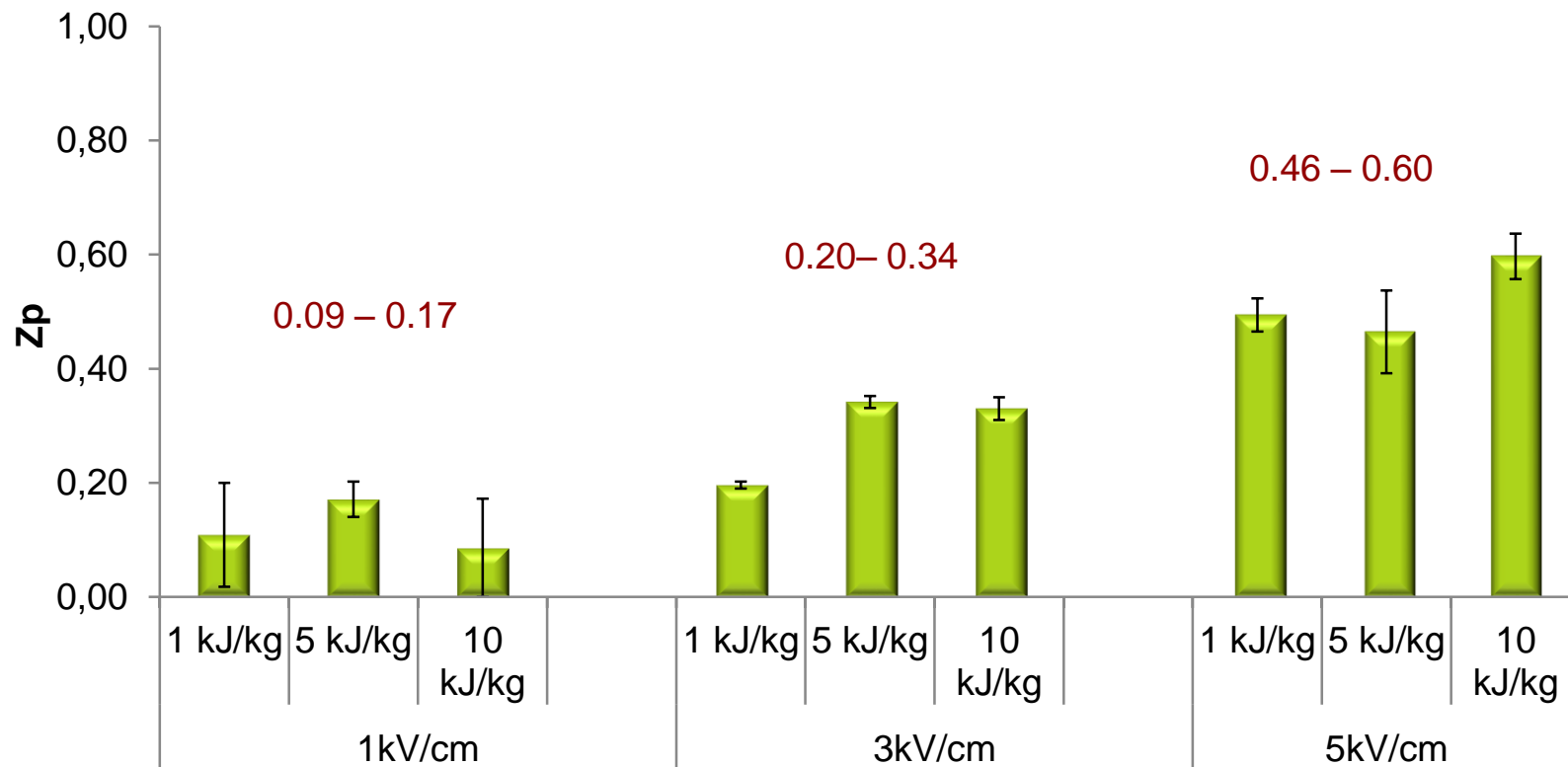


# PEF süsteem

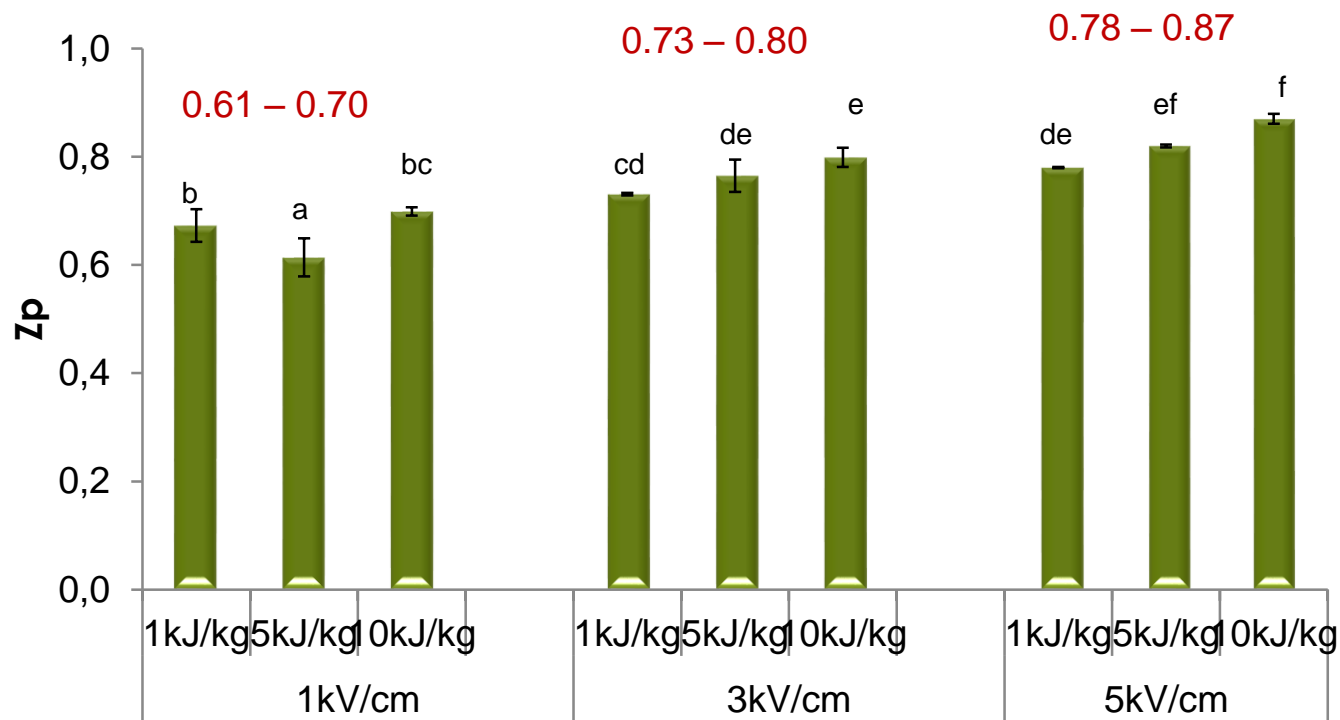


Generaator  
(Modulator PG,  
ScandiNova,  
Uppsala, Sweden)  
monopolar square  
waveform pulses  $20 \mu\text{s}$ ,  
20 Hz

# Zp indeks külmutatud ja sulatatud mustikate PEF töötlemisel



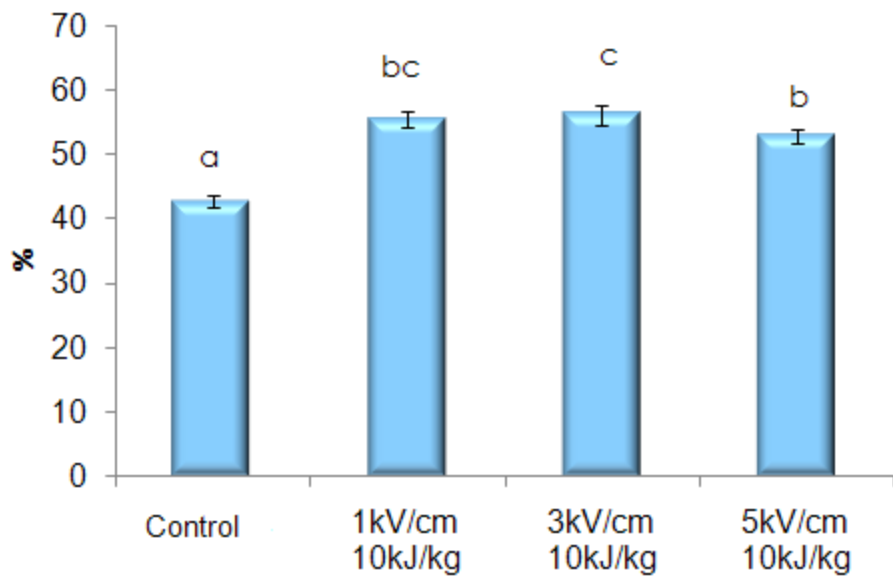
# Zp indeks külmutatud ja sulatatud mustikate PEF töötlemisel



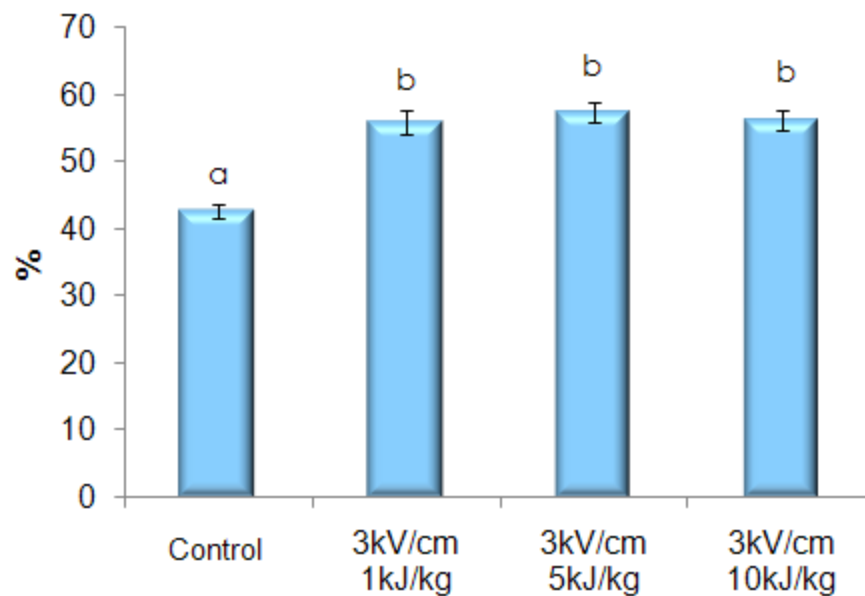
# Sulatatud ja värsked mustikad



# Värske mustikamahla saagis

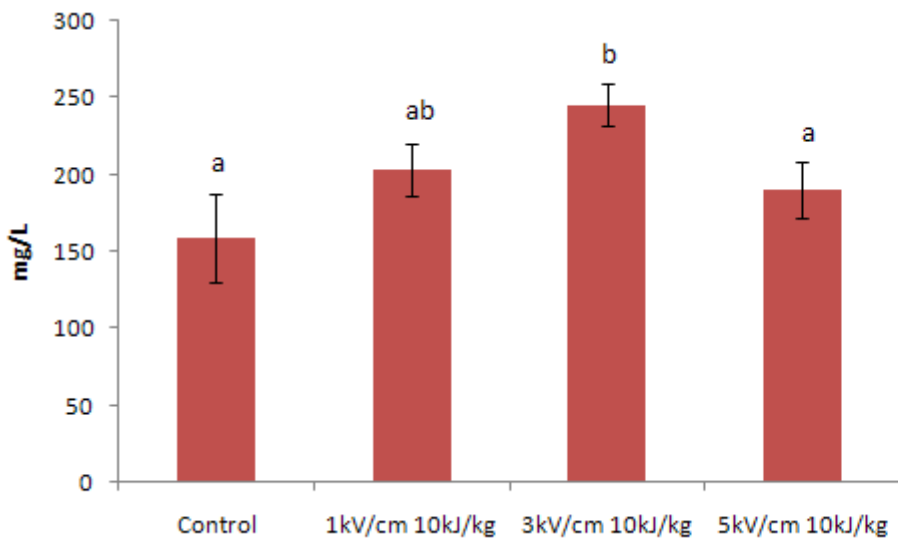


+ 24 - 32 %

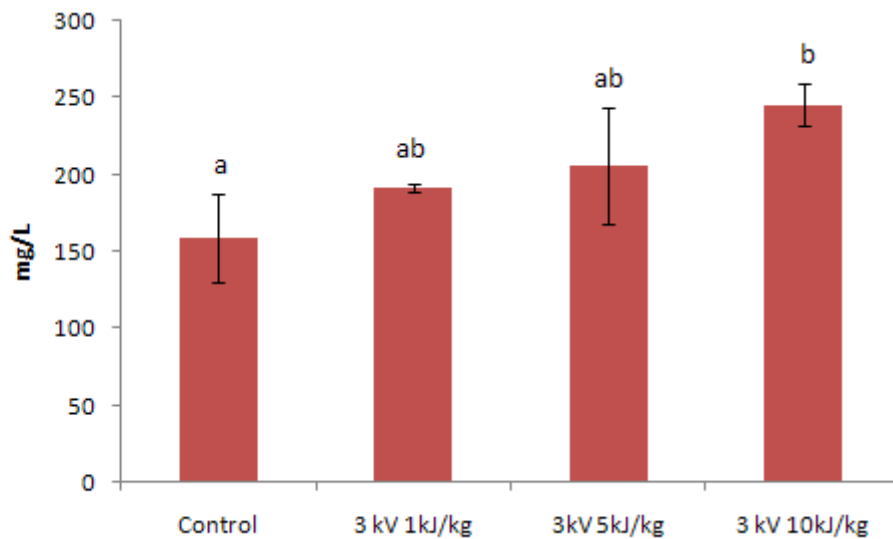


+ 32 %

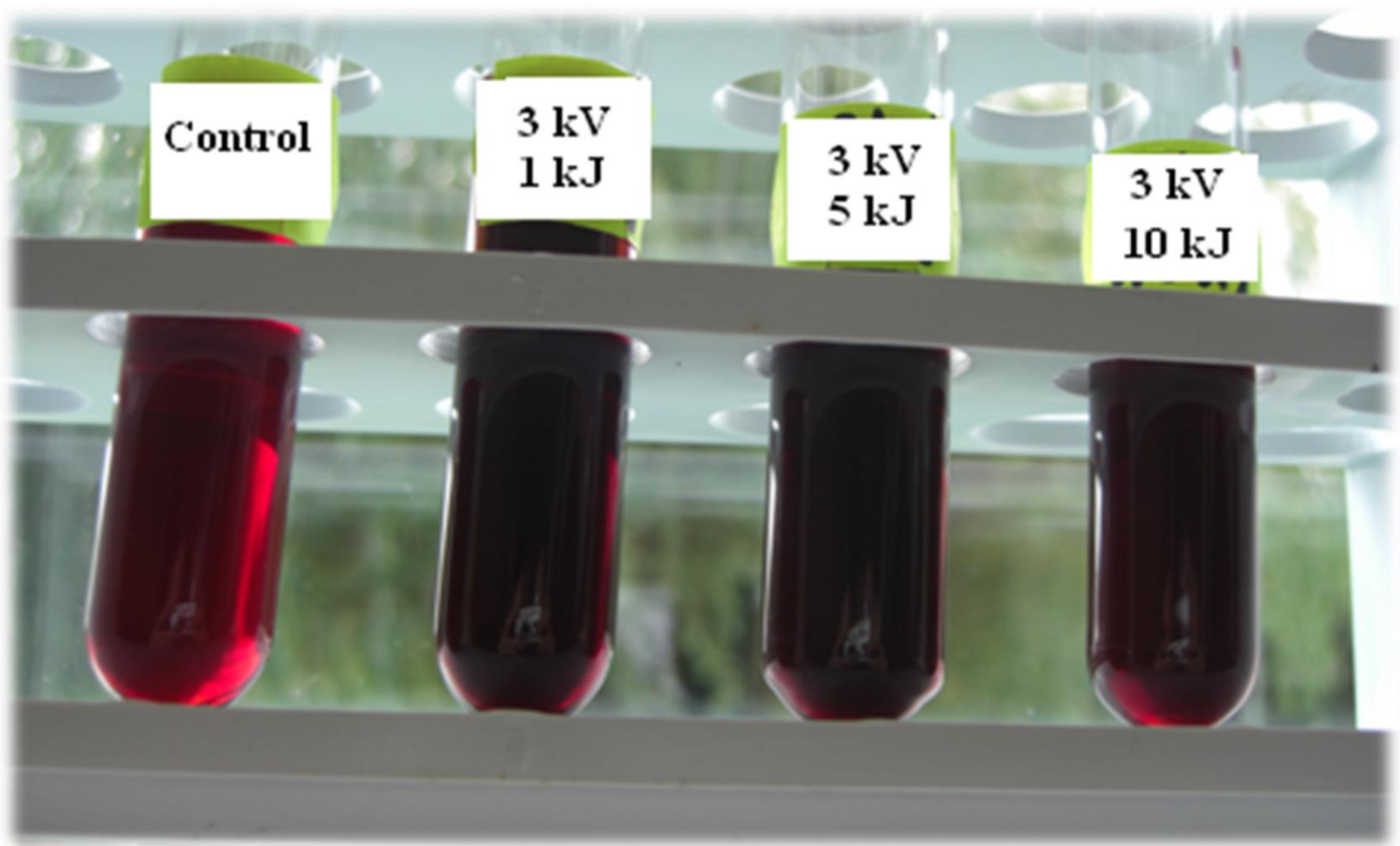
# Värske mustikamahla antotsüaanide üldsisaldus



+ 28 - 55 - 20 %



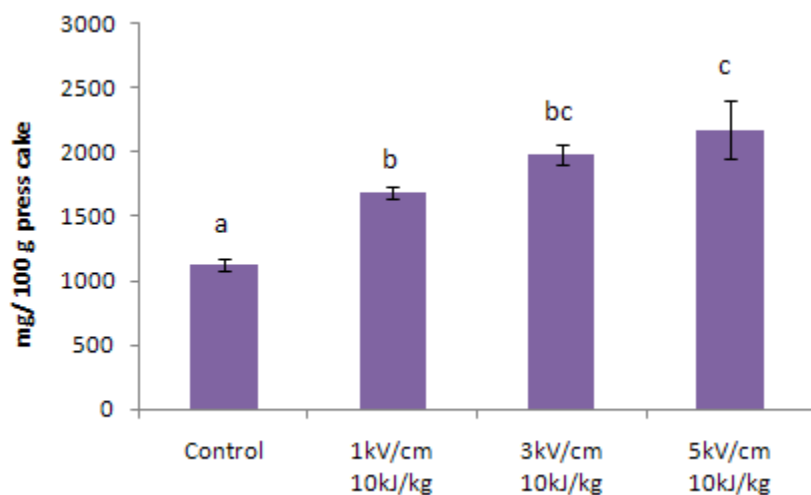
+ 20 - 55 %



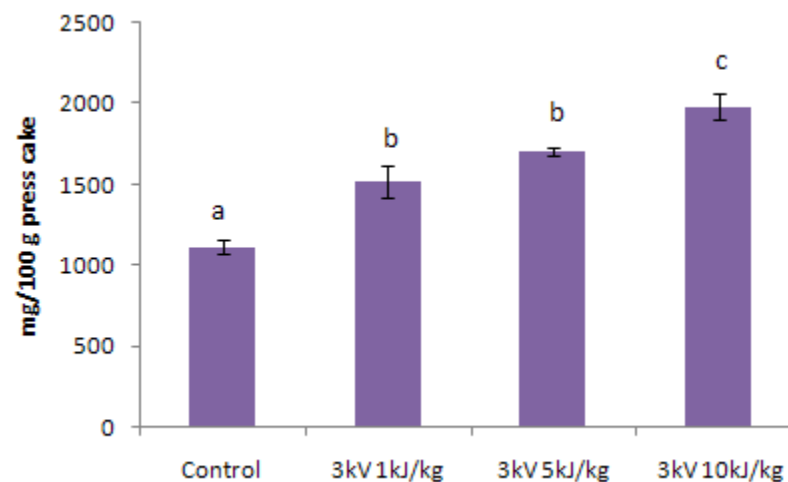
Mahlaproovid



# Mustika presskoogi antotsüaanide üldsisaldus

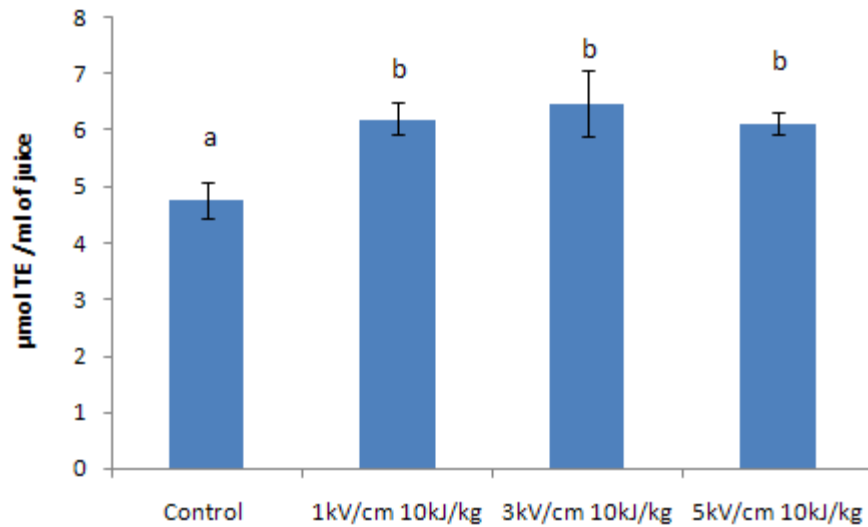


+ 51 - 95 %

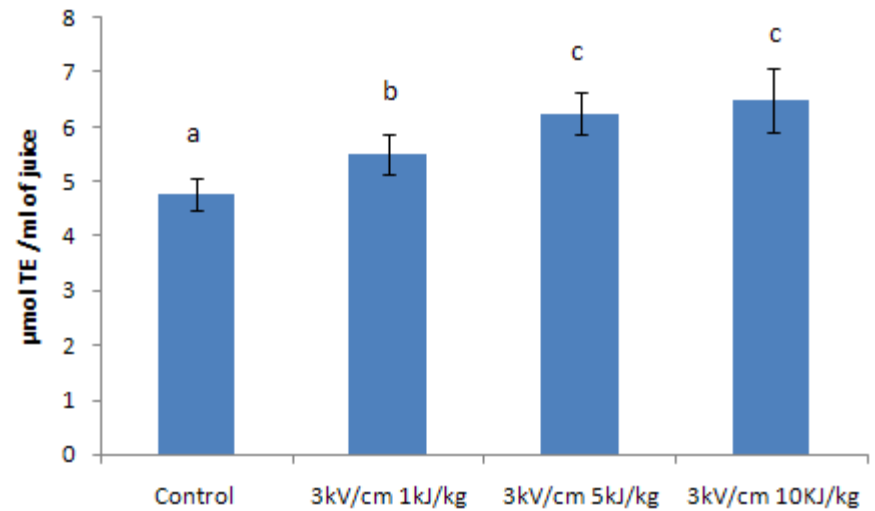


+ 36 - 77 %

# Mustika mahla antioksidantsus FRAP meetodil

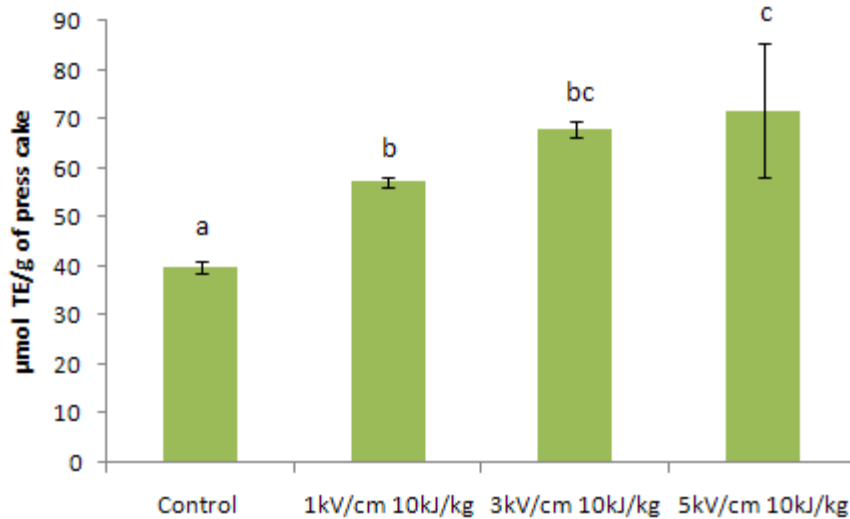


+ 31 %

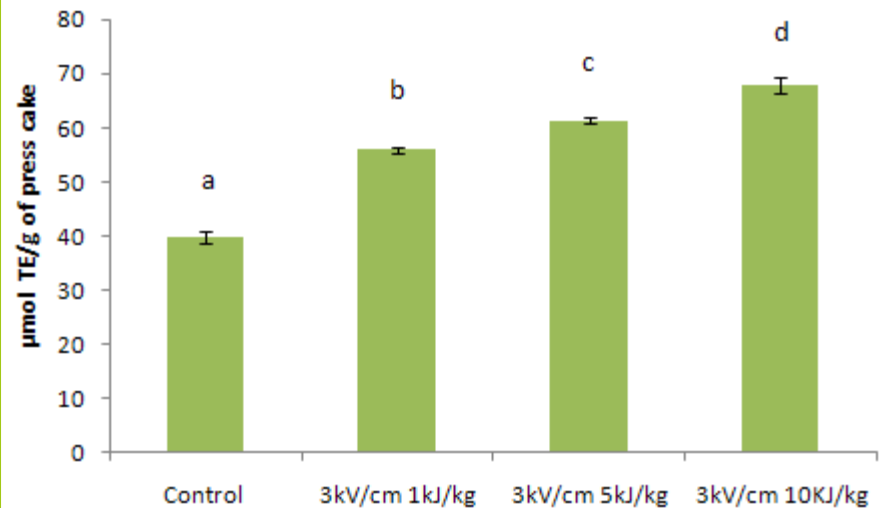


+ 15 - 36 %

# Pressimisjäagist saadud mustikamahla antioksüdantne aktiivsus FRAP meetodil



+ 44 - 80%

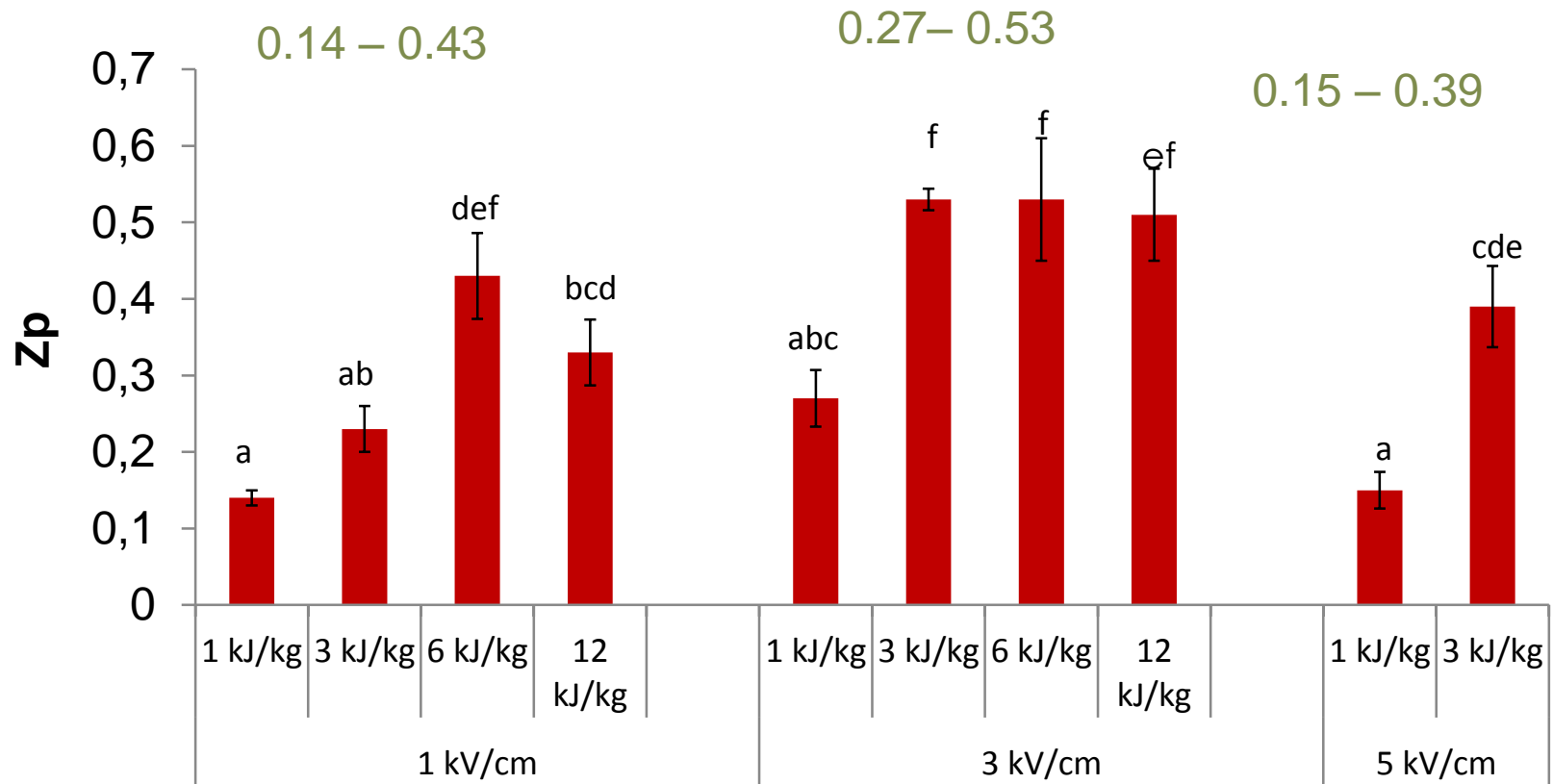


+ 40 - 71 %

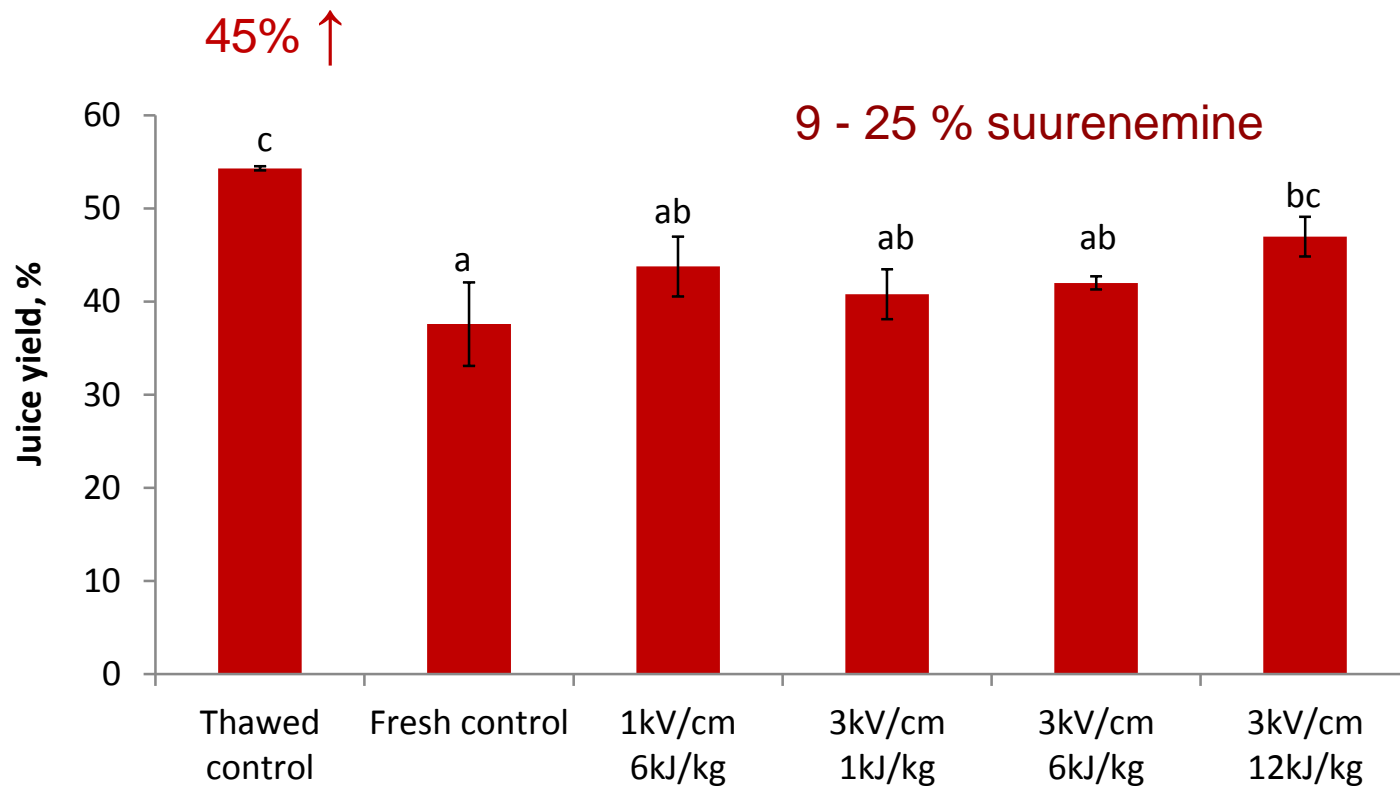
## Kokkuvõte

- ▣ PEF tehnoloogiaga töödeldud mustikate mahlasaagis, antotsüaanide sisaldus ning antioksidatiivne aktiivsus oli suurem võrreldes marjadega, mida ei töödeldud. Efektiivsemad parameetrid olid **3 kV/cm ja 10 kJ/kg**.
- ▣ PEF tehnoloogiaga töödeldud mustikate presskoogi ekstraktid sisaldasid rohkem antotsüaane, ning antioksidatiivne aktiivsus oli suurem kui kontroll-ekstraktis. Efektiivsed parameetrid olid **5kV/cm ja 10 kJ/kg**.

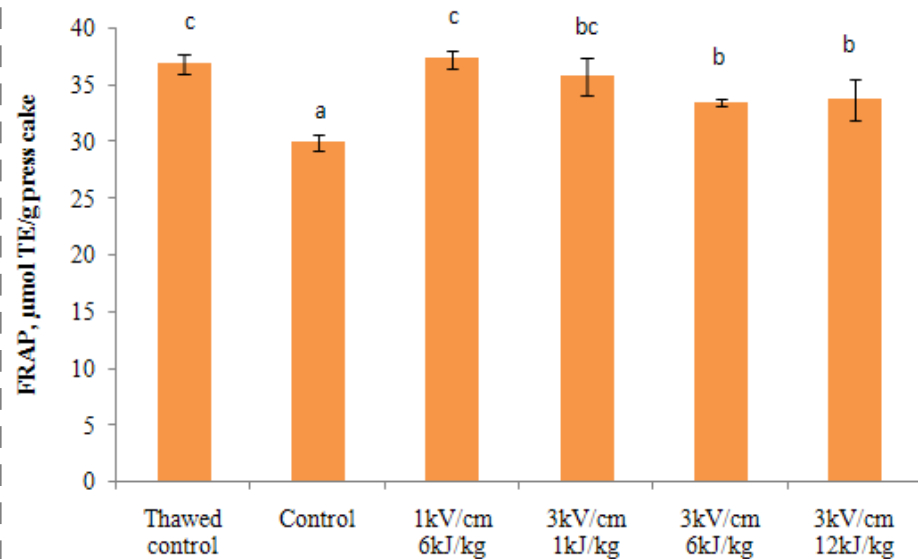
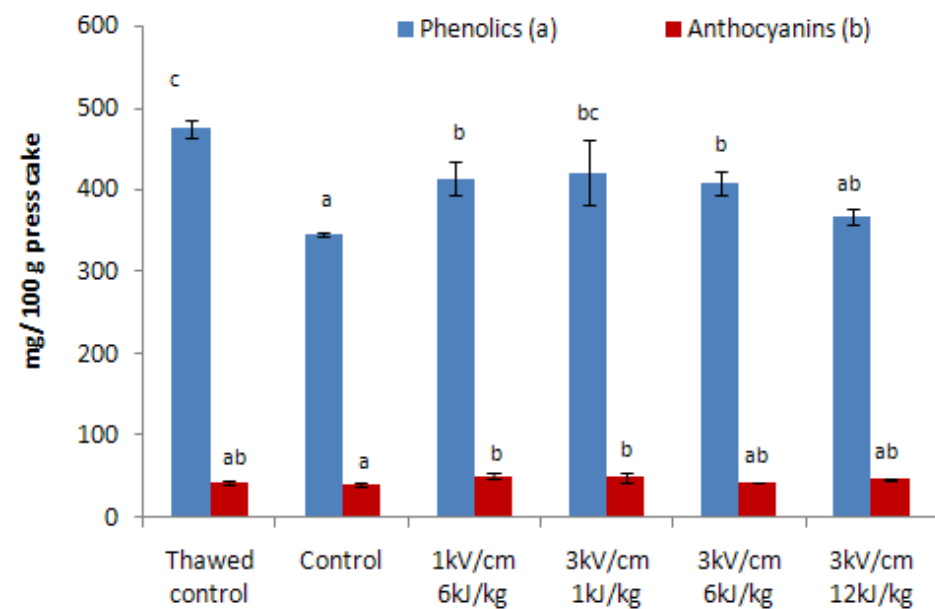
# Vaarikate rakkude lõhustamisindeks $Z_p$



# Vaarikamahla saagis



# VAARIKA PRESSKOOGI KEEMILINE KOOSTIS JA ANTIOKSÜDANTSUS (FRAP)



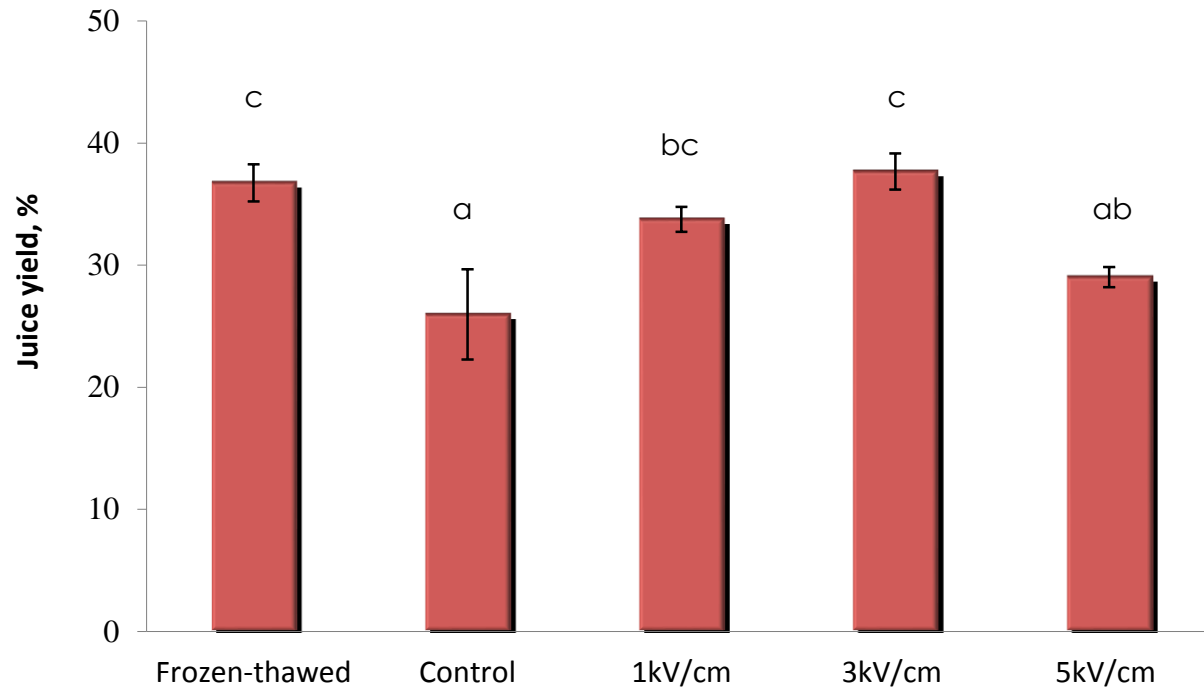
- TP 6 – 22 %
- TA 8 – 26 %
- FRAP 12 – 24 %

## Kokkuvõte

- PEF eeltöötlemise tulemusena saavutati kõrgem mahlasaagis (kuni 25%). Kuigi saagis oli madalam võrreldes külmutatud vaarikate kasutamisega
- PEF eeltöötlus ei parandanud mahla kvaliteeti
- Võrreldes värskete vaarikate presskoogiga saavutati PEF töötlusel kõrgem üldfenoolide (kuni 22%) ja antotsüaanide (kuni 26%) sisaldnud ning FRAP (kuni 24%) võrreldes mittetöödeldud proovidega
- Antotsüaanide ekstraktsioonil optimaalseimad parameetrid olid 1 kV/cm 6kJ/kg ning 3 kV/cm 1kJ/kg



# Hapukirsi mahlasaagis



PEF = + 12- 45 %



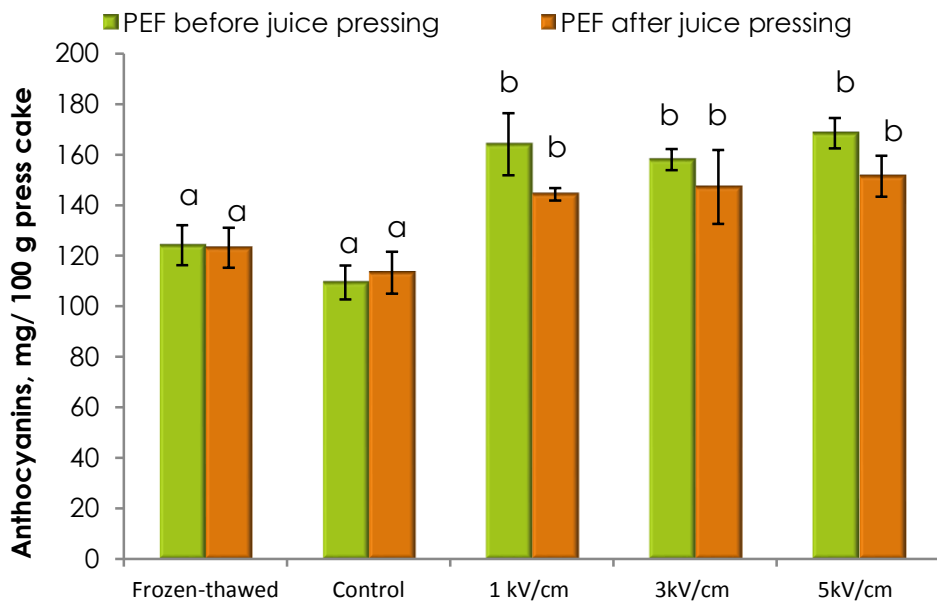
# Fenoolsete ühendite, antotsüaanide sisaldus ning antioksidatiivsus kirsimahlas

	<b>Phenolics</b>	<b>Anthocyanins</b>	<b>FRAP</b>
	<b>mg 100 ml<sup>-1</sup> juice</b>		<b>μmol TE ml<sup>-1</sup></b>
<b>Control (0 kVcm<sup>-1</sup>)</b>	112.9 ± 4.22a	33.8 ± 6.83a	4.9 ± 0.22a
<b>1kVcm<sup>-1</sup></b>	126.6 ± 2.87b	48.3 ± 3.87b	6.1 ± 0.66ab
<b>3kVcm<sup>-1</sup></b>	132.8 ± 6.48b	49.9 ± 3.85b	6.4 ± 1.07b
<b>5kVcm<sup>-1</sup></b>	133.9 ± 2.67b	53.3 ± 0.97b	6.6 ± 0.13b
<b>Frozen-thawed (FF)</b>	164.4 ± 8.12c	56.6 ± 2.00b	7.4 ± 0.42b

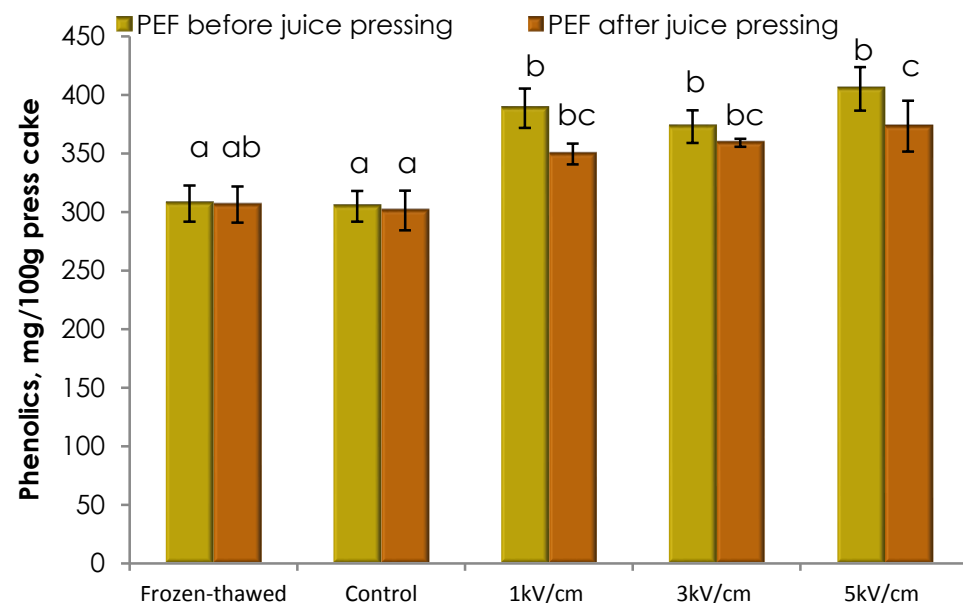
PEF= + 12 - 19 %    PEF= + 43 - 58 %    PEF= + 25 - 36 %



# Antotsüaanide ning fenoolsete ühendite sisaldus hapukirsi presskoogi ekstraktis



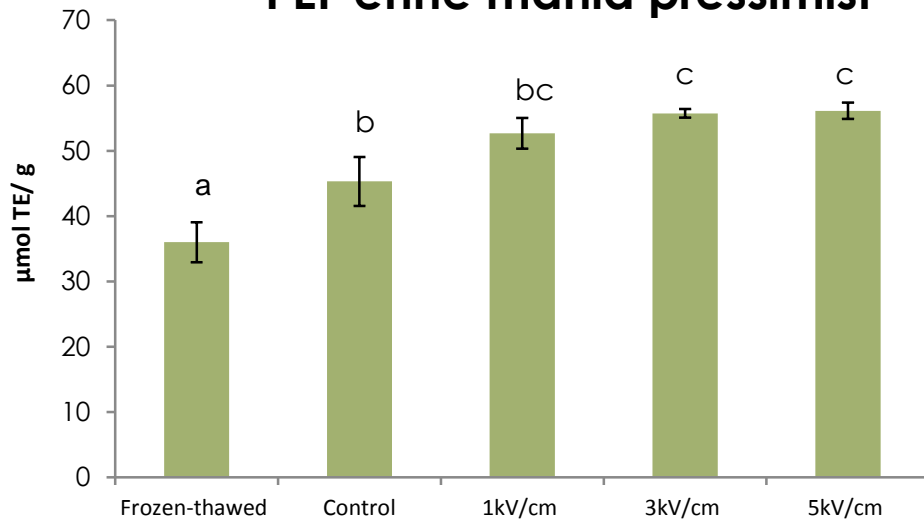
+ 44 - 54 % ↑



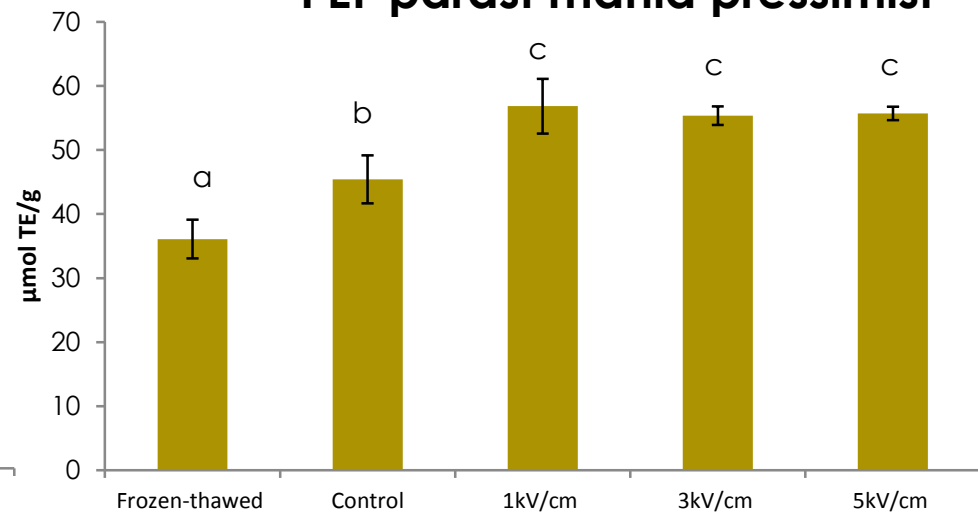
+ 22 - 33 % ↑

# Hapukirsi presskoogi ekstrakti antioksidatiivsus

## PEF enne mahla pressimist



## PEF pärast mahla pressimist



+ 16 - 24 %



## Kokkuvõte

- PEF töötlus hapukirsi mahla tootmisel suurendab mahla saagist ning kvaliteeti, ning parandab presskoogi jäägi ekstraktsiooni efektiivsust
- Optimaalsed tingimused hapukirsi mahla tootmisel PEF tehnoloogiaga oli 1kV/cm
- PEF rakendamine otse hapukirsi jääkproduktidele ei mõjutanud fenoolsete ühendite ekstraheeruvust

PEF kasutusvaldkonnad

# PEF kasutusvaldkonnad toidutööstuses

Rakendades PEF tehnoloogiat taimede kudedele, massitranspordi protsess paraneb:

- ▣ Kuivatamisel (aeg lüheneb, energiakulu väheneb)
- ▣ Külmutamisel (aeg lüheneb, energiakulu väheneb)
- ▣ Struktuuri modifikatsioonil
- ▣ Veini tootmisel
- ▣ Ekstraktsioonil

# PEF kasutusvaldkonnad

## EELISED

- Lühem töötusaeg
- Madalam töötustemperatuur
- Tõuseb säilivusaeg
- Minimaalselt töödeldud toit
- PEF inaktiveerib mikroorganismide tegevust
- PEFi on võimalik kasutada vedelike pastöriseerimisel (mahl, piim, munad, supp)



# PEF kasutusvaldkonnad

## PUUDUSED

- Kõrged kulud (seadme maksumus)
- Bakterite spoorid võivad säilida
- Külmutamine on vajalik, et pikendada säilivusaega
- PEF töötlemine ei inaktiveeri ensüüme
- PEF töötlus võimalik hetkel spetsiifilistele toodetele
- Pidevtoimeline PEF töötlus ei sobi tahketele toitudele, mida pole võimalik pumbata
- PEF pastörisatsioon on piiratud toodetele, milles pole õhumulle ning millel madal elektrijuhtivus