RSU

SENSORI DARBA VIDĒ

Iespējas darba aizsardzībā un nodarbināto veselības uzraudzībā

No ekspozīcijas mērījumiem līdz viedajiem IAL un proaktīvai riska vadībai

Ivars Vanadziņš, Dr. med.
RSU Darba drošības un vides veselības institūts

RSU

Prezentācijas ceļvedis

1 Kāpēc sensori?

2 Tehnoloģiju veidi

3 Pielietojumi

4 Dati un ieviešana

5 Praktiskais plāns

RSU

Kāpēc sensori darba aizsardzībā kļūst nozīmīgi?

Reāllaiks
riska signāli

Personalizēti
ekspozīcijas dati

Agrīni
brīdinājumi

Pierādījumi
lēmumiem

- Tradicionālie mērījumi bieži raksturo tikai konkrētu vietu un laiku.
- Valkājamie sensori ļauj saistīt darba vides apstākļus ar uzdevumu, kustību un fizioloģisko reakciju.
- Mērķis nav “vairāk datu”, bet ātrāka preventīva rīcība.

RSU

Jēdzieni: sensors, viedā sistēma un valkājama ierīce

Ko mēs mērām

- Fizikālos un ķīmiskos faktorus
- Kustību, pozu un biomehāniku
- Fizioloģiskos rādītājus
- Atrašanās vietu un notikumus

Kā sistēma darbojas

- Sensors uztver signālu
- Ierīce pārvērš to datos
- Programmatūra analizē tendences
- Brīdinājums vai lēmums iedarbina rīcību

RSU

Sensoru ekosistēma darbavietā



1. Uztvere vides / cilvēka dati

2. Pārraide Bluetooth, gateway, lokāli

3. Analītika sliekšņi, tendences, modeļi

4. Rīcība brīdinājums, kontrole, uzlabojums

RSU

Galvenās sensoru kategorijas

Darba vide

gāzes, putekļi, troksnis, mikroklimats

Biomehānika

IMU, spiediens, poza, kustība

Fizioloģija

HR, HRV, ādas temperatūra, SpO_2

Drošības notikumi

kritiens, tuvums, atrašanās vieta

Viedie IAL

ķivere, brilles, apģērbs, apavi

Multimodāli

vairāku signālu sinhrona analīze

RSU

Darba vides sensori: ko iespējams uzraudzīt?

CO / CO_2 / O_2	H_2S / VOC	PM / UFP	Troksnis
Vibrācija	Temperatūra	Mitrums	Apgaismojums

Svarīgi: sensora rādījums nav automātiski juridiski derīgs ekspozīcijas novērtējums.

Jāvērtē mērījuma mērķis, kalibrēšana, selektivitāte, nenoteiktība un salīdzinājums ar references metodi.

RSU

Ķīmiskā ekspozīcija un gāzu detektori



Pielietojumi

- Tūlītējs brīdinājums par akūtu risku
- Darba zonas un uzdevuma kartēšana
- Individuālās ekspozīcijas profili
- Ventilācijas un procesa kontroles novērtēšana

Kritiskais aspekts Sensora šķēršjutība un kalibrācijas nobīde var radīt

RSU

Daļiņu un aerosolu sensori

1 Daļiņas

PM_1 / $PM_{2.5}$ / PM_{10} vai skaita koncē

2 Konteksts

darba uzdevums, vieta, ventilācija

3 Validācija

salīdzinājums ar references instrū

4 Interpretācija

tendence, pīķi, kontroles efektivitāte

- Zemu izmaksu sensori ir īpaši noderīgi telpiskai un laika dinamikai.
- Rezultātus ietekmē aerosola sastāvs, izmērs, mitrums un optiskās īpašības.
- Nano un ultrasīkajām daļiņām nepieciešama specifiska instrumentācija un kompetence.

RSU

Troksnis un vibrācija: nepārtraukta ekspozīcijas aina

Troksnis	**personīgais dozimetrs**	uzdevumu pīķi un dienas deva
Plaukstas–rokas vibrācija	**instrumenta vai cimda sensors**	HAV riska profilēšana
Visa ķermeņa vibrācija	**sēdekļa / transportlīdzekļa sensors**	maršruti un darba režīmi

Sensoru dati palīdz atrast ekspozīcijas avotu, bet kontroles prioritāte saglabājas: novērst risku pie avota.

RSU

Mikroklimats, karstuma stress un aukstums

Vide	Cilvēks	Darbs
T, RH, starojums, gaisa kustība	ādas temperatūra, sirdsdarbība, aktivitāte	slodze, apģērbs, maiņas ilgums

Kombinēta pieeja

- Vides sensors viens pats neparāda individuālo slodzi.
- Fizioloģiskie rādītāji ir jutīgi, bet nav specifiski.
- Preventīvai rīcībai nepieciešams iepriekš definēts slieksnis un darba organizācijas plāns.

RSU

Fizioloģiskā monitorēšana

HR / HRV	Ādas T	SpO_2	EDA	Elpošana
slodze, atjaunošanās	termiska reakcija	specifiski scenāriji	uzbudinājuma reakcija	frekvence un slodze

- Rādītājus nedrīkst interpretēt atrauti no slodzes, veselības stāvokļa un vides.
- Darba aizsardzības mērķim jābūt skaidram, samērīgam un nodalītam no darbinieka snieguma vērtēšanas.
- Individuālu veselības lēmumu gadījumā nepieciešama profesionāla medicīniska interpretācija.

RSU

Noguruma un modrības riska monitorēšana

1 Signāli

acu kustības, galvas poza, aktivitāt

2 Modelis

individuāla bāzes līnija un kontekst

3 Brīdinājums

darbiniekam vai drošības sistēmai

4 Atbilde

pauze, maiņas korekcija, darba pārtrauk

Risks Viltus pozitīvi/negatīvi signāli, pārmērīga paļaušanās uz tehnoloģiju un stigmatizācija.

RSU

Ergonomika un biomehānika



Ko sensori pievieno?

- Objektīvi stumbra un ekstremitāšu leņķi
- Kustību biežums un ilgums
- Asimetrija un atkārtojamība
- Reāllaika atgriezeniskā saite
- Intervences efekta salīdzinājums

Vislabāk kombinēt ar darba novērojumu un uzdevuma

RSU

Biomehāniskie sensori un metodes

IMU

akselerometrs + žiroskops

EMG

muskuļu elektriskā aktivitāte

Spiediena sensori

zolītes, sēdeklis, satvēriens

Dziļuma kamera

pozas novērtēšana bez marķieriem

Viedais apģērbs

integrēti kustību un stiepuma sensori

Spēka platforma

slodzes sadalījums un līdzsvars

RSU

Balsta un kustību sistēmas traucējumu profilakse

Sensors nav intervence.

Vērtību rada cikls “mērījums → riska cēlonis → darba pārveide → atkārtots mērījums”.

1 Bāzes līnija
uzdevums un ekspozīcija

2 Intervence
pacēlājs, augstums, rotācija

3 Pārbaude
izmaiņas datos un novērojumā

4 Nostiprināšana
apmācība un darba standarts

RSU

Viedie individuālie aizsardzības līdzekļi

Ķivere

trieciens, atrašanās vieta, temperatūra

Brilles

AR instrukcija, attālināts audits

Apģērbs

gāzes, karstums, atrašanās vieta

Apavi / zolītes

kritiens, spiediens, lone worker

Dzirdes aizsardzība

troksnis un lietošanas kontrole

Respirators

derīgums, lietošana, filtrs

RSU

Tuvuma, sadursmju un kritienu novēršana



Tipisks darbības modelis

- Darbinieka tags vai sensors
- Iekārtas / zonas bāka vai uztvērējs
- Riska zonas un laika sliekšņi
- Lokāls brīdinājums abām pusēm
- Notikumu žurnāls un cēloņu analīze

Nepieciešams avārijas scenārijs sakaru zudumam.

RSU

Vientuļi strādājošie un attālinātas darba vietas

1 Notikums
kritiens, nekustīgums, SOS

2 Atrašanās vieta
GNSS / UWB / BLE / Wi-Fi

3 Saziņa
mobilais tīkls vai lokāls gateway

4 Reakcija
eskalācija un glābšanas protokols

- Tehnoloģijai jābūt savietotai ar reālu reaģēšanas kapacitāti.
- Jātestē pārklājums, baterija, viltus trauksmes un darbs bezsaistē.
- Jānosaka, kas saņem signālu, cik ātri reaģē un kā dokumentē notikumu.

RSU

Datu kvalitāte: no signāla līdz secinājumam

Derīgums

vai sensors mēra paredzēto?

Precizitāte

kļūda un atkārtojamība

Kalibrācija

izsekojamība un biežums

Pilnīgums

iztrūkstoši dati un baterija

Konteksts

uzdevums, vieta, laiks

Algoritms

caurspīdīgums un kļūdu risks

RSU

Validācijas un pilotēšanas principi

1 Laboratorija

kontrolēti apstākļi un references m

2 Lauka pilots

reāls darbs un lietotāju pieredze

3 Salīdzinājums

jutība, specifiskums, nobīde

4 Lēmums

mērķim atbilstošs vai nē

Ieteikums

Pirms iepirkuma definēt panākumu kritērijus, piemēram: datu pilnīgums ≥90 %, trauksmes aizture <30 s un iepriekš noteikta

RSU

Viltus trauksmes un “melno kastu” risks

Kas var noiet greizi

- Nepiemērots slieksnis
- Sensora nobīde vai bojājums
- Nespecifisks fizioloģisks signāls
- Algoritma kļūda citā darba vidē
- Dati bez darba uzdevuma konteksta

Kā mazināt risku

- Cilvēks saglabā lēmuma kontroli
- Regulāra kalibrācija un audits
- Skaidra trauksmju prioritāte
- Rezerves procedūra sistēmas atteicei
- Darbinieku ziņojumi un atgriezeniskā saite

RSU

Privātums, datu aizsardzība un uzticēšanās



Pamatprincipi

- Skaidrs un leģitīms OSH mērķis
- Datu minimizācija un īss glabāšanas termiņš
- Piekļuves tiesības un drošība
- Nodalīt OSH no produktivitātes kontroles
- Darbinieku iesaiste pirms pilotēšanas
- Ietekmes novērtējums, ja risks ir augsts

RSU

Darbinieku iesaiste nosaka ieviešanas kvalitāti

1 Kopīga problēma
vienoties par riska scenāriju

2 Kopīgs dizains
ierīce, sliekšņi, atgriezeniskā saite

3 Brīvprātīgs pilots
droša iespēja ziņot par problēmām

4 Kopīga izvērtēšana
ieguvumi, slogs, uzticēšanās

- Darbinieki vislabāk zina reālos darba uzdevumus un “apvedceļus”.
- Pieņemamība pieaug, ja ir skaidrs, kas redz datus un kādi lēmumi no tiem izriet.
- Aptaujas pētījumi uzsver nepieciešamību iesaistīt darbiniekus sensoru integrācijā.

RSU

Sensori kontroles pasākumu hierarhijā

1 **Novēršana** izslēgt bīstamo avotu

2 **Aizstāšana** mazāk bīstams process vai viela

3 **Tehniskie pasākumi** norobežošana, ventilācija, automatizācija

4 **Organizatoriskie pasākumi** darba laiks, procedūra, apmācība

5 **IAL un brīdinājumi** pēdējā aizsardzības līnija

RSU

Cilvēkcentrēts ieviešanas modelis

1. Vajadzība
konkrēts risks un lietošanas scenāriji

2. Koprade
darbinieki, OSH, IT, DPO, vadība

3. Pilots
mazs mērogs un skaidri kritēriji

4. Integrācija
procedūras, apmācība, uzturēšana

Pēc ieviešanas

Regulāri pārskatīt tehnisko darbību, trauksmes, datu izmantošanu, darbinieku pieredzi un to, vai risks faktiski samazinās.

RSU

Iepirkuma un risinājuma izvēles kontrolsaraksts

- ✓ Mērījuma mērķis un lietošanas vide
- ✓ References metode un kalibrācija
- ✓ Datu īpašumtiesības un eksportēšana
- ✓ Kiberdrošība un programmatūras atjauninājumi
- ✓ Baterija, IP klase un ergonomika
- ✓ Integrācija ar esošajām sistēmām
- ✓ Atbalsts, garantija un rezerves daļas
- ✓ Kopējās dzīves cikla izmaksas

RSU

Praktisks 90 dienu pilotprojekta plāns

0–30 dienas

Dizains

- Riska scenārijs
- Datu karte un DPIA
- Bāzes mērījumi

31–60 dienas

Lauka pilots

- 10–30 lietotāji
- Tehniskie KPI
- Nedēļas atgriezeniskā saite

61–90 dienas

Izvērtēšana

- Efekts uz risku
- Pieņemamība
- Lēmums par mērogošanu

RSU

Iespējas RSU DDVVI un sadarbības partneriem

Perspektīvs virziens

Savienot individuālo darba vides ekspozīciju [illegible] kont

Ekspozīcija	PM / VOC / CO_2 / troksnis / mikroklimats
Cilvēks	HR / HRV / ādas T / kustība
Konteksts	uzdevums / vieta / maiņa
Rezultāts	riska modelis un preventīvs risinājums

Priekšrocība: esoša darba vides mērījumu, ergonomikas, biomonitoringa un lietišķo pētījumu kompetence.

RSU

Galvenās atziņas

1. Sensors papildina, nevis aizstāj riska novērtēšanu.
2. Datu kvalitāte un konteksts ir svarīgāki par datu apjomu.
3. Darbinieku iesaiste un privātums nosaka uzticēšanos.
4. Sākt ar konkrētu risku, pilotu un izmērāmiem kritērijiem.
5. Ieviešanas mērķis ir reāls riska samazinājums.

ddvvi@rsu.lv