

# KÄITLEMISE OHUTUSUURING

## PRAKTILINE JUHEND KEEMIA TÖÖSTUSE RISKIDE ANALÜÜSIKS JA OHJAMISEKS

Belgia juhendmaterjali põhjal

### SISSEJUHATUS

See trükis on mõeldud juhtnööriks nende seadusandlike nõuete praktikasse rakendamisel, mis käsitlevad suurõnnetuse riske ja meetmeid nende riskide ohjamiseks. On esitatud peamised kitsaskohad ja konkreetsed lahendused nende likvideerimiseks.

Piirduetakse tootmiseseadmete funktsioneerimise käigus inimesele tekkida võivate riskidega. Ei käsitleta riske, mis tekivad seadmete juures seoses selliste töödega nagu ülevaatused, hooldus ja remont.

Siin esitatu ei pretendeeri neis küsimustes ainsaks õigeks. Seega pole trükises toodu kohustuslik. Vastuvõetav on ka teistsugune lähenemine, kui see suudab kindlustada seadusandluse nõuete analoogse rakendamise.

Trükises selgitatakse seadusandluse nõudeid ja kirjeldatakse konkreetset töömeetodit nende nõuete praktikasse rakendamiseks.

## 1. OSA

### SEADUSANDLUSE NÕUETE TÕLGENDAMINE JA SELGITAMINE

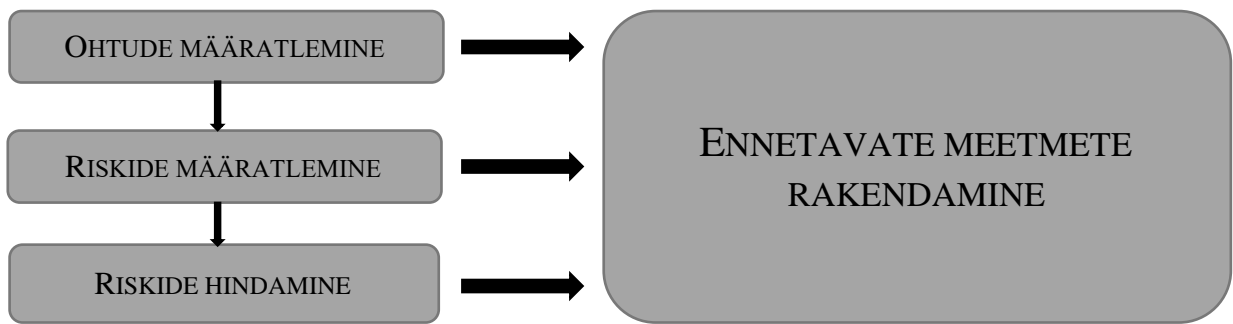
#### 1.1. Ohutusuuringu osad

Mõistet “ohutusuuring” käsitletakse siin kui riskianalüüsi ja rakendatud meetmete kombinatsiooni.

Tingimuseks on, et riskianalüüs koosneb kolmest osast:

1. ohtude määratlemine;
2. riskide määratlemine;
3. riskide hindamine.

Lisaks nimetatud kolmele osale on ohutusuuringus neljas osa – (ennetavate) meetmete rakendamine. Meetmed peavad põhinema riskianalüüsil, mis ei tähenda siiski seda, et see osa tuleb läbi viia alles siis, kui riskianalüüs on täielikult lõpetatud. Meetmete määratlemine kulgeb paralleelselt riskianalüüsi kolme astmega, nagu näitab joonis 1.1. Edasi selgitatakse igat ohutusuuringu komponenti eraldi.



**Joonis 1.1** Ohutusuringu neli osa

### 1.1.1. Ohtude määratlemine

Belgia seadusandlus ei defineeri mõistet “oht”. Seveso II direktiivist võib leida järgmise ohu definitsiooni:

*„Oht on ainele või füüsilisele situatsioonile iseloomulik omadus, mis potentsiaalselt võib inimesele ja/või keskkonnale kahju tekitada.”*

Terminit “füüsikaline situatsioon” saab siin laialdaselt tõlgendada. Näiteks iga allpool loetletud “füüsikalise situatsiooni” kohta saab öelda, et see võib viia potentsiaalse kahju tekkimiseni:

- 200 tonni vedelgaasi olemasolu hoiualal;
- ülerõhk mahutis;
- vedelgaasi leke keskkonda;
- vabanenud vedelgaasist tekkinud pilv;
- gaasipilve plahvatus.

Igat lüli sündmuste ahelas, mis viib õnnetuseni, saab vaadelda kui “füüsikalist situatsiooni”, mis võib viia kahju tekkimiseni.

Belgia keemiliste riskide direktoraat eelistab anda sellele definitsioonile siiski kitsama tõlgenduse. Ohu definitsioonis käsitletud füüsikaline situatsioon piiritletakse situatsiooniga, mis loob võimaluse kahju tekkimiseks ja määratleb potentsiaalse (s.t maksimaalse võimaliku) kahju ulatuse. Ülaltoodud näites loob vedelgaasi olemasolu võimaluse tulekahjuks ja plahvatareks. Asjaolu, et need gaasid on veeldatud rõhu all ning et neid on 200 tonni, määrab ära kahju võimaliku ulatuse gaasi soovimatu lekke korral.

Selle asemel, et rääkida “ohtlikust kemikaalist või ohtlikust situatsioonist”, võime me rääkida ka “kahjuallikast”. Oht on sellisel juhul “kahjuallikale” iseloomulik omadus. Sellise kitsama “ohu” interpretatsiooni puhul tähendab “ohu identifitseerimine”:

- kahjuallika kindlakstegemist;
- kahjuallika analüüsi – s.o kahjuallika omaduste uurimist, mis määraksid nende olemasolul tekkida võiva kahju.

Suurõnnetuse kontekstis on kahjuallikateks kemikaalid ja reaktsioonid.

Ühest küljest, ainete poolt tekitatava potentsiaalse kahju määravad nende keemilised ja füüsikalised omadused, teisest küljest aga terve hulk protsessiga seoses olevaid omadusi nagu füüsikaline olek (gaas, vedelik), kogus, rõhk, temperatuur jne.

Me peame kahju (ohu)allikaks ka keemilisi reaktsioone. Teatud keemilised reaktsioonid võivad tõepoolest viia rõhu ja/või temperatuuri tõusuni seadme mingis osas, mille tulemusena seade puruneb. Nii nagu kemikaalide korral, on reaktsiooni võimalik kahju määratud ühelt poolt reaktsiooni mitmesuguste spetsiifiliste omaduste kombinatsiooniga, teiselt poolt, keskkonnaga, kus see reaktsioon aset leiab. Täpsemalt on seda selgitatud 2. osas.

Mõiste “ohu” range tõlgenduse puhul on selge, miks määrad nõuavad, et riskianalüüs algaks alati ohu identifitseerimisega. Võimalike õnnetusstsenaariumide otsimisel pole mõtet, kui pole teada, kus ohuallikad asuvad ja millised on nende omadused. Õnnetus on sündmus, asjaolude ahel, mille puhul ohuallikas toob esile oma ohtlikud mõjud.

Enamikul juhtudest on ohuallikas ilmne ning me võime automaatselt otsida vastavaid stsenaariume. Näiteks, kütusemahuti puhul peaks uurima võimalikke lekkeid ja süttimisallikaid. Teistel juhtudel pole ohud nii ilmsed. Vaatleme näiteks kontrollimatut eksotermilist reaktsiooni reaktoris või ebastabiilsete ühendite lagunemist. Just selliste kemikaalide ja reaktsioonide “keerulisemate” omaduste tõttu on formaalne ohuanalüüs absoluutselt vajalik.

Ohtude tundmine pole vajalik ainuüksi nendega seotud riskide määramiseks, vaid ka ennetusmeetmete rakendamiseks. Nagu on selgitatud osas 1.1.4, tuleb ennetusmeetmetele anda prioriteet.

Täielikkuse mõttes märgime, et Seveso II direktiivis kasutatakse mõistet “suurõnnetuse ohud”. Seda tuleb võtta lihtsalt kui üht mõistet. Definiitsioone “ohu” ja “suurõnnetus” Seveso II direktiivis ei saa omavahel ühendada. Seveso II direktiivi artikkel 9 selgitab, mida mõeldakse “suurõnnetuse ohu” all. Vastavalt sellele artiklile peab ohutusaruanne näitama, et suurõnnetuse ohud on määratletud. Direktiivi lisast II (*Siseministri 12. 05 2003 määrus nr 55, § 7 ja lisa 1*) selgub millist informatsiooni peab ohutusaruanne sisaldama. Võime järeldada, et mõiste “suurõnnetuse ohud” tähendab tegelikult “suurõnnetuse stsenaariume” (vt direktiivi lisa II, osa IV, punkt A või *Siseministri 12.05 2003 määrus nr 55, § 7 lg 4 p. 3*).

### **1.1.2. Riskide määratlemine**

Nii nagu “ohu” puhul, ei defineeri Belgia seadusandlus ka mõistet “risk”. Riski määratletakse sageli kui tõsiduse ja tõenäosuse kombinatsiooni. Seveso II direktiiv defineerib riski järgmiselt:

*“Risk on tõenäosus, et mingi sündmus mingi aja jooksul ja mingitel tingimustel toimub”*

Vaatamata sellele, millist definiitsiooni kasutada, hõlmab riski määratlemine alljärgnevat:

1. õnnetuse stsenaariumi määratlemine;
2. stsenaariumi põhjuste ja tagajärgede identifitseerimine;
3. stsenaariumi tõenäosuse ja tõsiduse hindamine.

Trükise kontekstis on õnnetuse stsenaariumideks ohtlike kemikaalide ja/või ohtlike energiahulkade ebasoovitav väljavool seadmest.

Ebasoovitava väljavoolu põhjuste ja tagajärgede kindlakstegemine on vajalik selleks, et hinnata igasuguse väljavoolu tõenäosust ja tõsidust ning olla võimeline rakendada vajalikke meetmeid. Põhjuste tundmine võimaldab rakendada ennetusmeetmeid, et muuta väljavool vähem tõenäoseks. Tagajärgede teadmine võimaldab kasutada leevendusmeetmeid, mis piiravad väljavoolu tekitatud võimalikku kahju.

Tõenäosuse ja tõsiduse määramine on ettevalmistus ohutusuuringu järgmiseks osaks: riski hindamiseks. Seega viis, kuidas tõenäosust ja tõsidust hinnatakse ja väljendatakse, sõltub sellest, kuidas riski hindamine läbi viiakse.

### **1.1.3. Riski hindamine**

Riski hindamisel antakse hinnang selle kohta, kas risk on vastuvõetav või mitte, kas teda on võimalik vähendada või mitte ning millise tasemeni?

Riski hindamist saab vaid siis teha järjekindlalt ja objektiivselt, kui eelnevatele küsimustele on vastatud, kasutades nn riskihinnangu kriteeriume. Ilma selliste kriteeriumiteta meetmete määratlemine kujutab endast täiesti subjektiivset ja kontrollimatut tegevust. Mõningad riskid on “ülekaitsstud”, teised jälle “alakaitsstud”.

Mis puutub riskihinnangu kriteeriumidesse, siis tuleb eristada kaht lähenemisviisi: jääriskide hindamine ja “vahepealsete” riskide hindamine.

#### **A. Jääriskide hindamine**

Antud lähenduses arvutatakse jäärisk kvantitatiivse riskianalüüsi tehnikate abil. Jäärisk on risk, mis jääb alles pärast kõigi meetmete arvestamist. Seda riski hinnatakse tema võrdlemise teel “aktsepteeritava väärtusega”.

Et arvutada teatud tagajärje või teatud stsenaariumi tõenäosust, peame omama täielikke ja korrektseid vea-puid ning usaldatavaid tõrkesagedusi sündmustele vea-puudes.

Need vea-puud võivad olla erakordselt ulatuslikud ja keerukad, sest arvesse läheb kogu süsteem, kaasa arvatud ohutusseadmed.

Lekete/kadude tagajärgede hindamiseks (arvutamiseks) kasutatakse matemaatilisi mudeleid. Sellised mudelid annavad mõistlikke tulemusi vaid suuremate vahemaade puhul. Kuid väiksemad lekked ja kohalikud mõjud võivad samuti viia suurõnnetusteni.

Kvantitatiivse riskianalüüsi läbiviimine on keeruline ja aeganõudev, analüüsi läbiviijatelt kõrget kompetentsi nõudev tegevus. Sel põhjusel viiakse praktikas kvantitatiivne riskianalüüs läbi vaid spetsiifiliste situatsioonide hindamiseks, nagu näiteks seadme keskkonnarisk või juhtimisruumi paigutus keemiatehases. Sellistel juhtudel, kus iga otsus riski aktsepteeritavuse kohta omab kaugeleulatuvaid finantsilisi tagajärgi või suurt ühiskondlikku mõju – on kvantitatiivsele riskianalüüsile omane põhjalik teaduslik ja objektiivne iseloom oluliseks plussiks.

Protsessi seadmete riskianalüüs ei saa siiski piirduda mõne spetsiifilise küsimusega, näiteks toimega, mis laieneks üle keemiaettevõtte piiride. Iga komponendi puhul, mis võib vallandada suurõnnetuse, lekitades keskkonda piisavalt suurtes kogustes ohtlike ühendeid, tuleb küsida: millised on sellise lekke riskid ning kas need on küllaldase kontrolli all?

Põhjaliku kvantitatiivse riskianalüüsi läbiviimine seadme iga komponendi/osa jaoks nõuab aga tohutut tööd. Sel põhjusel on terve hulk ettevõtteid välja töötanud lihtsustatud riskihindamise meetodid, mis võimaldavad hinnata riske ning teha efektiivseid otsuseid rakendatavate meetmete osas. Need lihtsustatud meetodid põhinevad vaheriskide hindamisele.

#### **B. Vaheriskide hindamine**

Vaheriskide all mõistame riski nagu see on, arvestamata mingeid meetmeid. Ei hinnata lõppseadet/lõpp-projekti – s.o seade koos kõikide lisadega – vaid vahepealset konstruktsiooni/

projekti, seadme lõplikult viimistlemata mittetäielikku versiooni. Praktikas määratakse tavaliselt seadme risk koos juhtimissüsteemidega, kuid ilma ohutussüsteemideta. Vaheriski põhjal võetakse vastu otsused lisameetmete (nt ohutussüsteemide) rakendamiseks, selleks, et veelgi vähendada vaheriski.

Praktikas ei kasutata pidevat tõsiduse ja tõenäosuse skaalat, vaid nende parameetrite eri (diskreetseid) klasse. Tõsiduse ja tõenäosuse klasse saab kombineerida riskiklassideks. Kõige lihtsam viis seda teha on riskimaatriksi kaudu. Mõned metodoloogiad, nagu Saksa standard DIN V 19250, määravad veel teised faktorid, mida tuleb kombineerida koos tõsiduse ja tõenäosusega läbi nn “riskikõvera”. Osa ettevõtteid ei arvesta tõenäosust ning kohaldavad seega ühedimensionaalse klassifikatsiooni tõsiduse alusel. Sel juhul räägime “deterministlikust” riskihinnangust, kuna vastaspool, mis arvestab tõenäosust, on “tõenäosuslik” riskihinnang.

Selle meetodi puhul koosnevad riskihinnangu kriteeriumid hulgast tehnilistest tingimustest, mis sätestatakse igas riskiklassis meetmete jaoks, mis peaksid vaheriski veel vähendama. Võib öelda, et selline lähenemine kasutab “aktsepteeritavaid meetmeid”, kuna, jääriskide hindamisele põhinev lähenemine kasutab “aktsepteeritavaid riske”.

Nõudmised, mida riskihinnangu kriteeriumid panevad rakendatavatele meetmetele vastavalt riskiastmele, võivad olla erinevad. Näiteks, võime määratleda meetmete soovitud usaldatavuse. Teise võimalusena kirjeldatakse hulka tingimusi, mida tuleks arvestada meetmete kavandamisel (ning mis kindlustavad selle, et risk väheneb küllaldaselt) – näiteks kahe sõltumatu ohutussüsteemi olemasolu.

Lõpuks, saab kombineerida kvalitatiivseid ja kvantitatiivseid nõudmisi.

Üheks selliseks näiteks on standard IEC 61508, milles on määratletud ohutuseadmete usaldusväärsuse vahemikud nn. “SIL klassid”.

Riski hindamise ning selle kasutamise viisi detailsema arutelu instrumentaalsete ohutussüsteemide määratlemiseks võib leida viitest /1/.

Viide /2/ kirjeldab, kuidas reas ettevõtteis on rakendatud riskihinnangu kriteeriume.

**Belgia *Chemical risks directorate*** poolt teostatud inspekterimiste käigus saadud kogemusest ilmneb, et vaheriskide hindamine on ainumõeldav meetod riskihinnangu andmisel. Lõppudelõpuks, viiakse kvantitatiivset riskianalüüsi praktikas läbi ainult kas väliste riskide hindamiseks või siis väga spetsiifiliste probleemide puhul. Leiti, et ainult vähestel ettevõtetel on paigas riskihinnangu kriteeriumid ja nad rakendavad neid edukalt kõigile ettevõttes olevatele seadmetele. Riskihinnangu kriteeriumide kavandamine vaheriskide hindamiseks peaks olema paljude ettevõtete jaoks esmatähtsaks ülesandeks, et viia nende tegevus kooskõlla ohutusuuringuid puudutava seadusandlusega.

#### **1.1.4. Meetmete kindlakstegemine**

Seadusandlikud aktid ei sisalda detailseid tehnilise juhendeid suurõnnetuste ohjamiseks. Kuid nad näitavad ära, millist strateegiat tuleks järgida riskide vähendamisel:

1. Riski vältimine;
2. Kahju vältimine;
3. Kahju suuruse piiramine.

Allpool kirjeldatakse, mida need strateegiad tähendavad suurõnnetuste ärahoidmise kontekstis.

## A. Riski vältimine

Suurõnnetuse oht selles trükises on loomulikult kontrolli minetamine protsessi üle (kemikaali ja/või energia vabanemine õnnetuse korral). Riskide vältimine elimineerib võimaluse nimetatud stsenaariumide toimumiseks või vähendab neist tekkida võivat võimalikku kahju. Et seda saavutada, tuleb ohukolde (kemikaalid ja reaktsioonid) rakendada meetmeid kas ohuallikale iseloomulike omaduste või seadme omaduste suhtes. (vt samuti osa 1.1.1). Tegevus ohuallika omaduste suhtes seisneb teistsuguste kemikaalide või reaktsioonide valimises. Tabel 1.1 annab ülevaate võimalikest riski vältimise meetmetest tööstuses.

<b>Tabel 1.1</b>		
<b>Riski ennetamise meetmed tööstuses</b>		
	Ained	Reaktsioonid
<i>Meetmed kemikaali (aine) omaduste osas</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kemikaali (aine) elimineerimine või asendamine vähem ohtlikuga</li><li>• Kemikaali (aine) kasutamine vähem ohtlikus kontsentratsioonis</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vähem ohtliku reaktsioonitee kasutamine</li></ul>
<i>Meetmed seadmetega seotud omaduste osas</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hulkade vähendamine (väiksemad seadmed, vaheladustamise ära jätmise jne.)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vähem ohtliku reaktoritüübi valik (mahuti/paak reaktori asemel toru)</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vähem ohtlike (vähem ekstreemsete) rõhu- ja temperatuuritingimuste kasutamine</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vähem ohtlike protsessi- tingimuste valik (hulgad, rõhk, temperatuur)</li></ul>

Riskiennetusmeetmed muudavad protsessi sisuliselt ohutumaks. Tootva tööstuse ohutuse põhimõtteid käsitletakse laialdasemalt viidetes /3/ ja /4/.

## B. Kahju vältimine

Kahju ärahoidmine siinses kontekstis tähendab kontrolli minetamise vältimist selle esinemise tõenäosuse vähendamise teel. Võib vahet teha passiivsete ja aktiivsete meetmete vahel.

**Passiivsed meetmed** ei vaja seadme aktiivset tööd või inimese vahelesegamist. Nad on pidevalt rakendatud. Passiivsete meetmete näiteks on anuma rõhukindlus või toru roostekindlus.

**Aktiivsed meetmed** nõuavad seadme/aparaadi aktiivset toimimist või inimese vahelesegamist.

Kui meede töötab täiesti automaatselt, ilma inimese vahelesegamiseta, räägime **materiaalsest meetmest**. **Protseduurilised meetmed** sisaldavad inimese vahelesegamist (nt alarm, mis järgneb operaatori teatud tegevuste järgnevusele).

Belgias nõutakse tõsiste vigastuste vähendamiseks materiaalsete meetmete eelistamist kõikidele teistele (nt protseduurilistele) meetmetele.

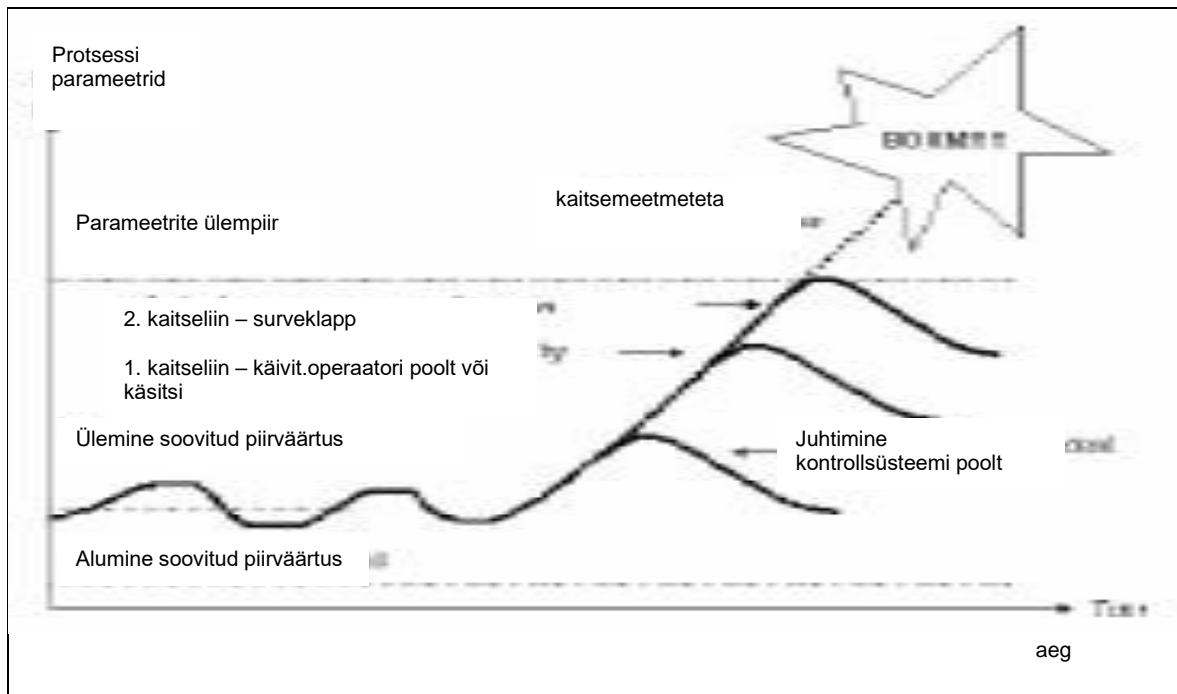
Tootvas tööstuses on aktiivsed meetmed juhtimis- ja ohutussüsteemi osa. Juhtimissüsteemid kindlustavad protsessi kulgemise “normaalsel” soovitud viisil. Ohutussüsteemid hakkavad tööle ainult siis, kui tingimused hälbivad, kui ähvardab tekkida ohtlik olukord. Need süsteemid tunnevad ära “ohtliku” kõrvalekalde ning sekkuvad protsessi. See võib tähendada, et:

- protsessi järgmine aste peatatakse (nn vahelukkude poolt);

- kogu protsess peatatakse;
- kõrvalekalle parandatakse ja protsess pöördub tagasi normaalsesse ohutusse tingimustesse;
- ebasoovitavad mõjud, mis võisid olla ohtlike kõrvalekallete tagajärg, pöörduvad tagasi aktsepteeritavale tasemele (nt ohtlike ainete leke avariiventüülist).

Ohutussüsteemidel on eranditult ainult ohutuse tagamise funktsioon ning seetõttu peavad nad olema juhtimissüsteemist sõltumatud.

Juhtimis- ja ohutussüsteemide rolli pidevalt mõõdetava ja korrigeeritava kriitilise ohuparametri suhtes illustreerib joonis 1.1.



**Joonis 1.1** Juhtimis- ja ohutussüsteemi funktsioon protsessi parameetri jaoks

Kahju vältimise meetmete valikul peaks eesmärgiks olema nende suur töökindlus. Selleks võiks rakendada järgmisi reegleid:

- Passiivsed meetmed on töökindlamad kui aktiivsed.

**NB!** Passiivsed meetmed pole oma olemuselt ohutud. Peale selle, passiivsed meetmed võivad mitte tulemust anda. Kuid nende ebaõnnestumise aste on siiski oluliselt madalam, võrreldes aktiivsete meetmetega. Võib öelda, et passiivsed meetmed on siiski oma olemuselt ohutumad kui aktiivsed meetmed.

- Iseaktiveeruvate süsteemide töökindlus on tunduvalt suurem, kui süsteemidel, mis nõuavad välist energiaallikat.

Iseaktiveeruvate süsteemide näiteks on ohutusventiilid või katkestuskettad ("pimedad"). Ebanormaalne olukord aktiveerib ise ohutusseadme. Teisest küljest, ohutusahel kõrge rõhu vastu vajab funktsioneerimiseks välist energiaallikat. Pange tähele, ohutusventiile võib vaid siis pidada kahju ennetavateks meetmeteks, kui nad on õige dimensiooniga ja kui ained sattuvad keskkonda ohutus kohas.

- Suurema töökindluse võib saavutada pigem materiaalsete kui protseduuriliste meetmetega.

- Süsteemide töökindlust võib suurendada, luues nn liia/**reservi**.

*Liiaga/Reserviga süsteemidel on kaks või enam ohutusseadet, mis töötavad paralleelselt nii, et kui üks ohutussüsteemi haru ei hakka tööle, jääb siiski alles üks või enam ohutussüsteemi haru, mis võivad ohutusfunktsiooni täita. Kui valime ohutuse suurendamiseks reservi, peaksime teadlikud olema “ühistest ebaõnnestumise põhjustest”. Ühine ebaõnnestumise põhjus on üksik ebaõnnestumine, mis mõjutab samaaegselt süsteemi paralleelalalaid. Sel põhjusel tuleb hoiduda identsete detailide ja tarkvara kasutamisest ohutussüsteemi erinevates harudes.*

- Seadme üksikud sõlmed või nende osad võivad olla varustatud autodiagnostikaga, mille puhul teatud vead määratletakse otsekohe ja parandatakse kiiresti.
- Pidevate mõõtmiste korral näitab mõõteväärtuste muutumine, et mõõteseade funktsioneerib; mittepidevate mõõtmiste või lülituste puhul pole see nii. Pidev mõõtmine võimaldab juhtimisplandi operaatoril teostada pidevat diagnostikat/jälgimist.

### **C. Kahju/tagajärgede piiramine**

Eelistuselt viimase kohal on meetmete rakendamine kahju piiramiseks. Kahju piiravad meetmed võib jagada kahte rühma:

- meetmed lähtuvalt lekke iseloomust ja ulatusest;
- meetmed, mis puudutavad kahjukannataja kaitset.

Allpool esitatakse kokkuvõtte kõige tähtsamatest strateegiatest, mida võib järgida lekke iseloomust ja ulatusest lähtudes.

- Lekke iseloomu mõjutamine;

*Selle strateegia üheks näiteks on kaitseklapp, mis vähendab plahvatuse suurust/jõudu või hoiab ära rõhu all oleva mahuti täieliku purunemise ja väldib ohtlike ainete emissiooni (kohas ja kogustes, kus emissiooni peetakse peamiseks õnnetuse allikaks). Teiseks näiteks on nõrk vahekatus atmosfäärirõhul oleva reservuaari peal. See tähendab, et sisemine ülerõhk ei põhjusta reservuaari fataalset purunemist, vaid viib ära ainult katuse.*

- Vabanevate koguste piiramine;

*Selleks kasutatakse näiteks ülevoolu ja ohutusventiile.*

- Vabanenud vedelike leviku tõkestamine;

*Vedelike levikut saab takistada kaitsevallitiste ja drenaažisüsteemidega.*

- Vabanenud vedelike aurustumise takistamine;

*Vedeliku aurustumist saab aeglustada sileda aluspinnaga, mis vähendab kontaktpinda. Teine võimalus on katta vedelik väiksema tihedusega ainega.*

- Mürgiste aurude ja gaaside leviku takistamine;

*Saavutatakse tootmiseseadme paigutamisega hoonesse. Gaasipilve leviku takistamiseks kasutakse veekardinaid.*

- Tuleohtlike/süttivate aurude ja gaaside hajumise kiirendamine;

*Võimalus plahvatusohtliku segu moodustumiseks väheneb seadme paigutamisel õue, millega kindlustatakse loomulik ventilatsioon. Suletud ruumide korral tuleks kasutada sundventilatsiooni.*

- Tuleohtlike aurude ja gaaside süttimise takistamine;



- Tule tõrjumine.

Kahjukannatajate kaitseks võib kasutada järgmisi strateegiaid:

- Võimalike kahjukannatajate piiratud juuresolek.

*Keelatakse näiteks juurdepääs ohtlikule piirkonnale.*

- Evakueerimine ohutsoonist õnnetuse puhul.
- Kahjukannatajate kollektiivne kaitse.

*Näiteks tugevdatud (protsessi) juhtimisruumid.*

- Kahjukannatajate individuaalne kaitse isikukaitsevahendite abil.
- Ohvritele abi osutamine.

## **1.2 Ohutusuuringute teostamise juhtimis(korraldus)aspektid**

### **1.2.1 Süstemaatiline lähenemine ohutusuuringule**

Suurõnnetuse ohuga ettevõtte puhul ei piisa ainult ohutusuuringute teostamisest. Direktiiv ütleb väga selgelt, et ettevõttel peavad olema “protseduurid selleks, et süstemaatiliselt identifitseerida peamisi ohte, mis tekivad normaalsest ja normist kõrvale kalduvast tööst ning hinnata nende ohtude tõsidust ja tõenäosust”.

Meetmetelt, mida rakendatakse ohtude piiramiseks, nõutakse kõrget kaitse taset.

Süstemaatiline lähenemine eeldab, et ohutusuuringu teostamisel järgitakse selgelt määratletud, selgelt kirjeldatud töömeetodit. See peab kindlustama ohutusuuringu kõrge kvaliteedi. Omadused, mille poole tuleb püüelda ohutusuuringu läbiviimisel, on kõikehõlmavus ja objektiivsus.

Kõikehõlmavusest peab lähtuma:

- Ohu/kahjuallikate identifitseerimisel – kas on teada kõik kemikaalid ja reaktsioonid, ka need, mis on ebasoovitavad?
- Ohu/kahjuallikate analüüsil – kas on teada kõik nende asjassepuutuvad omadused?
- Õnnetuse stsenaariumide määratlemisel ja põhjuste otsimisel – kas on teada mittesoovitud lekke kõik põhjused?

Rakendatav töömeetod peab kindlustama, et oleks kaetud seadme kõik komponendid.

Ohu/kahjuallikate ja nende omaduste ning stsenaariumide ja nende põhjuste otsimist peab toetama kontrollnimekiri ja juhend või küsimustik.

Riskide (tõsiduse ja tõenäosuse) hindamisel ning riski vähendavate meetmete määratlemisel on probleemiks objektiivsus. Selgete kriteeriumite-juhtnööridega tuleb välistada inimfaktori subjektiivne mõju riskide hindamisel ja meetmete määratlemisel.

Kirjalikud protseduurireeglid peavad kindlustama selle, et oleks kaetud ohutusuuringu kõik osad. Erilist tähelepanu nõuavad uute seadmete installeerimise või modifitseerimisega seotud ohutusuuringute protseduurid. Neil juhtudel peab ohutusuuring olema integreeritud projekteerimisprotsessi. Ainult sel viisi saab seadme projekti integreerida ohutuse, mis oleks kooskõlas üldiste ennetuspõhimõtetega ja meetmete järgnevusega. Seetõttu ei saa uute seadmete ohutusuuringud olla piiratud vaid lõpp-seadme analüüsiga.

Osas 2 on esitatud võimaliku praktilise meetodi selgitus ohutusuuringu kõikide osade süstemaatiliseks läbiviimiseks. Esitatud meetodit saab rakendada nii uute projektide kui ka olemasolevate seadmete korral.

## 1.2.2 Ohutusuuringute uuendamine

### A Perioodilised ülevaatused

Seveso II direktiiv nõuab ohutusuuringute (edaspidi OA) uuendamist iga viie aasta järel. Kuna OA on tehtud läbiviidud ohutusuuringute baasil, peab OA uuendamine toimuma ohutusuuringute uuendamise alusel.

Perioodiline ohutusuuringute uuendamine pole kindlasti uus idee. See on paljude aastate jooksul olnud ja on üha suuremas arvus ettevõtetes tavaline praktika ning seda soovitab tungivalt ka tootmisohutuse alane kirjandus.

Selle poolt, et ohutusuuringuid perioodiliselt läbi viia, on mitmeid argumente isegi siis, kui seadmestik pole aastate jooksul muutunud või on muutunud väga vähe.

#### a. Riski-identifitseerimise *kõikehõlmavuse* taotlus

Võimalus teatud põhjuste või tagajärgede kahe silma vahele jäämiseks ohutusuuringu korral on vägagi reaalne. Uuringu regulaarsel kordamisel on võimalik lähemale jõuda kõikide võimalike suurõnnetuse ohtude nimekirja koostamisele.

#### b. Seadmestiku (väikeste) muudatuste kumulatiivne mõju

Seadmestik jääb harva aastate möödumisel samaks. Väikesed modifikatsioonid, millest igaüks üksikult on liiga väikesed, et välja teenida ohutusuuringut, võivad üheskoos riski märgatavalt suurendada.

#### c. Tehnoloogia areng

Tehnoloogia areneb pidevalt ning see kehtib ka ohutustehnoloogia kohta. Mõned tehnoloogiad pole võib-olla olnud kättesaadavad, nad on olnud minevikus kas liiga robustsed või kallid, mis tähendab, et neid ei rakendatud. Perioodilised ohutusuuringud võivad anda võimaluse hinnata uuemate tehnoloogiate kasutamist.

#### d. Areng riski tajumise osas

Mitte ainult tehnoloogia ei arene, vaid ka ühiskonna ootused ohutustaseme osas, eriti tööstuses. Mõned situatsioonid, mis olid aktsepteeritavad kümme aastat tagasi, pole seda enam mitte, ning sellistel juhtudel on vajalikud lisameetmed.

#### e. Väljaõpe, teadlikkuse tõus ja kommunikatsioon

Ohutusuuringute läbiviimine on väljaõppe oluline vorm ja ohutusteadlikkuse kasv on osalejatele tähtis. See on ideaalne võimalus värskendada inimeste teadmisi seadmetega seotud ohtudest ja riskidest ning tõsta need veelkord fookusesse. Iga kord, kui grupis viiakse läbi ohutusuuring, toimub suure hulga informatsiooni vahetus erinevate erialade, hierarhiliste tasemetega, inseneride ja operaatorite, ning kogunud ja vähem kogunud töötajate vahel.

### B. Õnnetusi ja vahejuhtumeid puudutavad ülevaated

Õnnetuste ning vahejuhtumite uurimine peab täitma järgmisi eesmärgi:

- Ühelt poolt, avastama õnnetuse täpse põhjuse ning tarvitusele võtma konkreetsed meetmed, et see tulevikus ei korduks;
- Teiselt poolt, piiritlema ja kõrvaldama puudused ohutuse juhtimissüsteemis, mis võimaldaksid õnnetuse asetleidmise.

Esimese punkti eesmärgid on ka ohutusuuringu eesmärgid ning seetõttu on ilmne, selle eesmärgi saavutamiseks tuleb läbi viia tüüpilised ohutusuuringu osad:

#### *a. Ohtude identifitseerimine*

Paljudel juhtudel on tõenäoliselt selge, milliste kemikaalide või reaktioonide tõttu õnnetus juhtus. On palju näiteid, kus õnnetuse põhijõhjus või õnnetus ise oli seotud faktiga, et teatud kemikaalide või reaktioonide käitumise kohta oli vähe või polnud üldse midagi teada.

#### *b. Riskide kindlaks tegemine ja kirjeldamine*

Õnnetus võib päevalgele tuua uued põhjused, mida polnud kas küllaldaselt või üldse mitte arvestatud eelmistes ohutusuuringutes.

#### *c. Riskide hindamine*

#### *d. Meetmete rakendamine*

Uurimuse teise eesmärgi osas – piiritleda ja kõrvaldada puudused ohutusjuhtimissüsteemis – on üks küsimusi see, miks polnud eelmine ohutusuuring edukas riskide identifitseerimisel või nende sobival vähendamisel.

Kui õnnetus või vahejuhtum paljastas “tundmatu” ohuallika, tuleb tõstatada järgmised küsimused:

- Kas ohuanalüüs oli üldse läbi viidud?
- Kui jah, siis kas järgitud meetodika oli küllalt süsteemne selle ohuallika identifitseerimiseks?
- Kui jah, siis kas kirjeldatud meetodikat viidi õigesti läbi? Kui mitte, siis miks?

“Uue” riski korral võiks esitada sarnased küsimused.

- Kas varem oli avastatud riski olemasolu kõnesoleva seadme osa puhul?
- Kui jah: kas kasutatud meetodika oli võimeline avastama “uusi” riske?
- Kui jah: kas kirjeldatud meetodikat järgiti õigesti? Kui mitte: siis miks?

Asjad võivad valesti minna ka riskianalüüsis ja meetmete rakendamisel. Sõltuvalt vastustest neile küsimustele, oleks võimalik nõuda mitte ainult parandusi ohutusjuhtimissüsteemis, vaid ka teatud ohutusuuringute uuesti tegemist, osaliselt või tervikuna. See on eriti soovitatav juhul, kui fookusesse kerkivad “uued” ohud või riskid.

## **2. OSA**

### **OHUTUSUURINGU PRAKTILINE LÄBIVIIMINE**

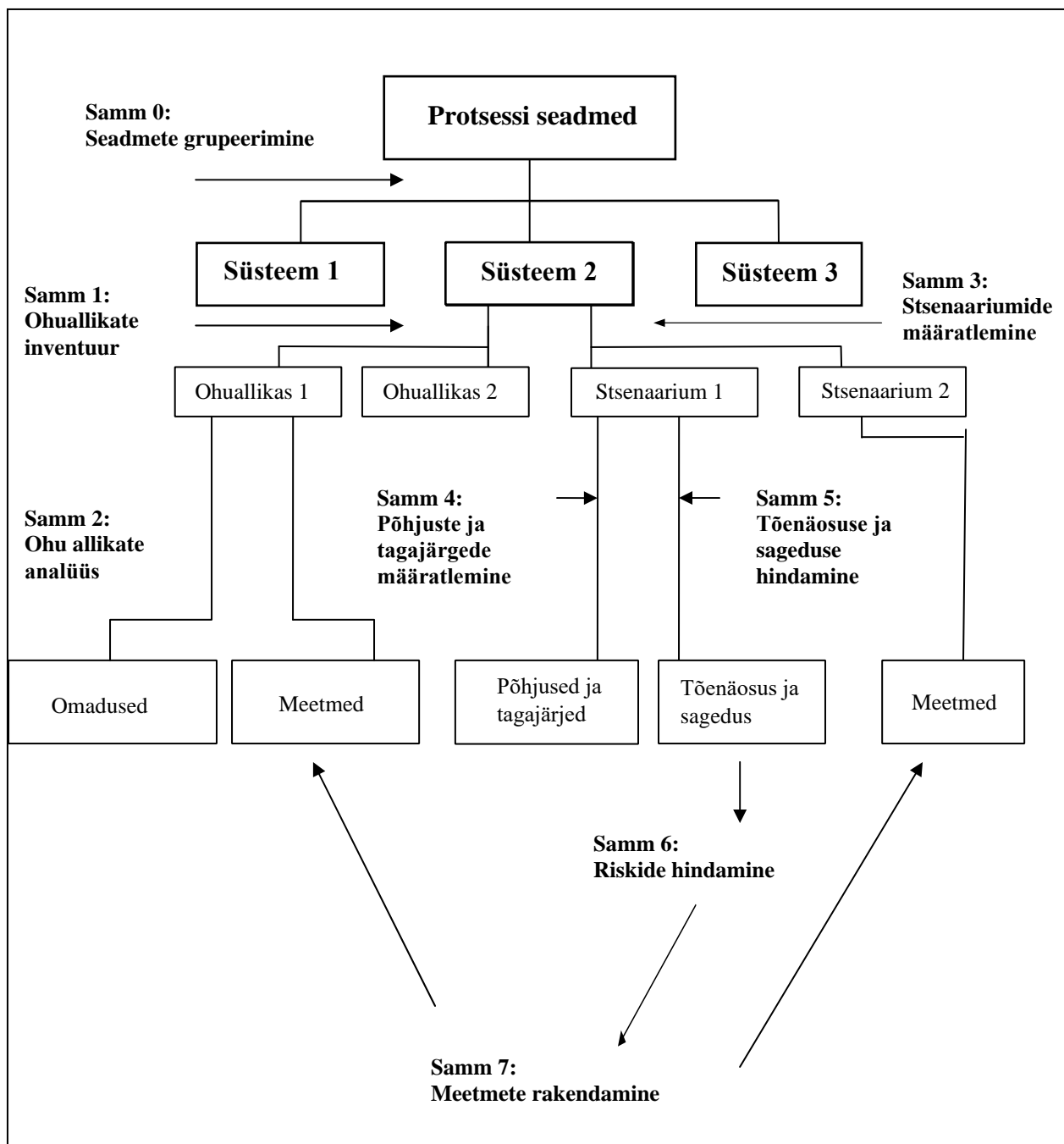
Osas 1 esitatud printsiipide ellu rakendamiseks esitatakse käesolevas osas praktiline töömeetod. Osa 2.1 visandab ohutusuuringu tegevuste järjekorra: millised on eri astmed ja kuidas saab neid (praktikas) koordineerida ja ühendada üheks loogiliseks tervikuks. Osas 2.2 käsitletakse üksikute astmete praktilist teostamist.

## 2.1 Ohutusuuringu üldine kord

1. osas määratleti ohutusuuringu neli astet, mis põhinevad määrustele. Osa neist astmetest jagati omakorda osadeks, mis teeb kokku seitse sammu. Tabel 2.1 näitab suhet ohutusuuringu normatiivsete osade/astmete (mis on määratletud brošüüri osas 1) ja ohutusuuringu praktiliste sammude vahel (mida kirjeldatakse üksikasjaliselt käesolevas osas).

<b>Tabel 2.1</b>	
<b>Suhe ohutusuuringu normatiivsete osade ja ohutusuuringu praktiliste sammude vahel</b>	
<b>Normatiivsed osad</b>	<b>Praktilised sammud</b>
1. Ohtude määratlemine	1. Ohu-/kahjuallikate nimistu koostamine 2. Ohu-/kahjuallikate analüüs
2. Riskide määratlemine	3. Õnnetusestsenaariumide määratlemine 4. Stsenaariumide põhjuste ja tagajärgede identifitseerimine 5. Stsenaariumide tõsiduse ja tõenäosuse hindamine
3. Riskide hindamine	6. Riskide hindamine
4. Meetmete rakendamine	7. Meetmete rakendamine

Siin esitatud praktilises lähenemises ei rakenda me neid samme kogu seadmestikule korraga, vaid selle erinevatele osadele. Seadmestiku jagamine nn “süsteemideks” moodustab kaheksanda lisasammu (samm 0). Rakendades neid kaheksat sammu, saame joonisel 2.1 kujutatud informatsioonistruktuuri.



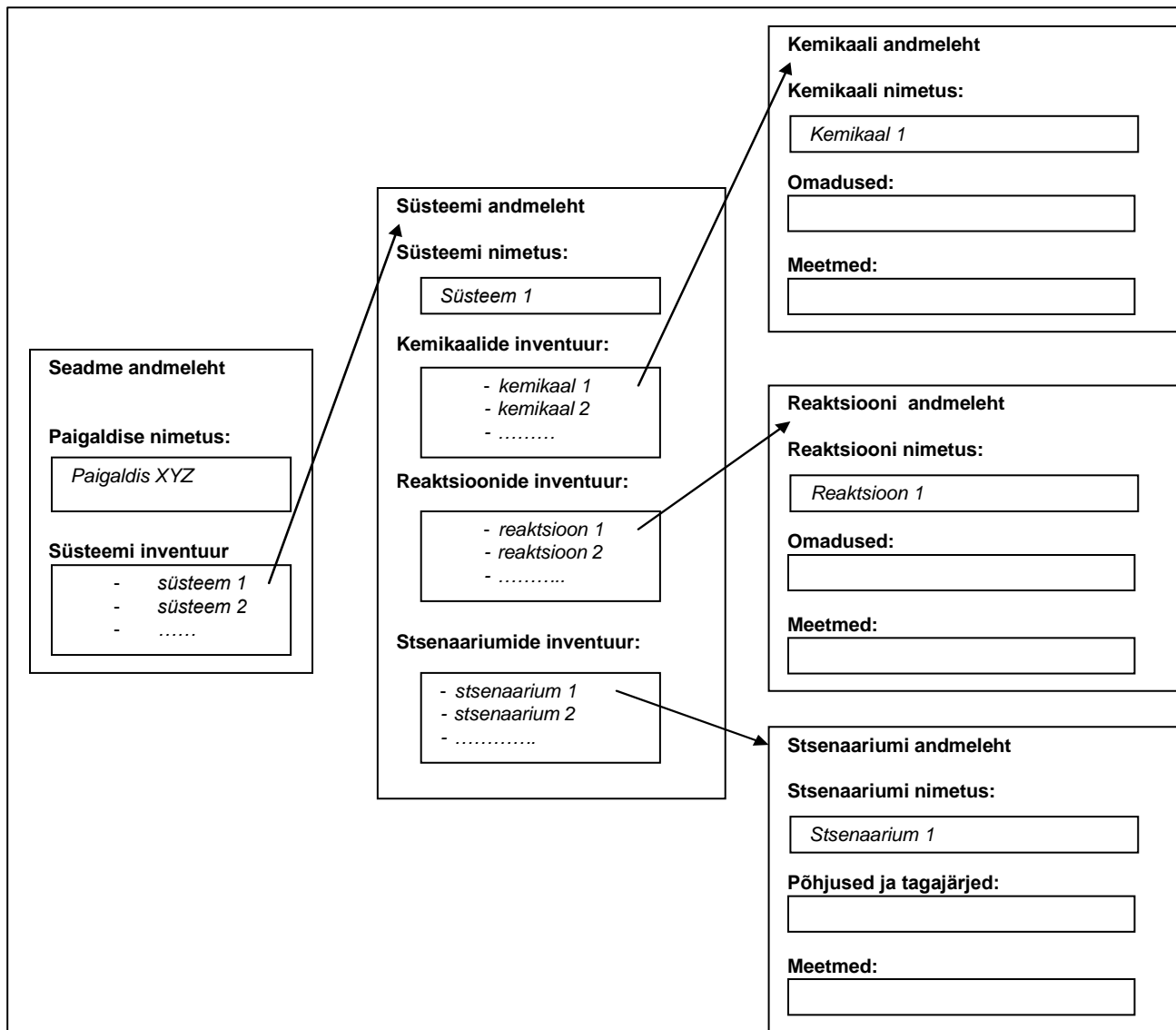
**Joonis 2.1.** Informatsioon, mis saadakse ohutusuuringu kõigi 8 sammu rakendamisel

Selle puu-kujutise tipus on “Protsessi seadmestik”, mis on ohutusuuringu objektiks. Samm 0 jagab seadmestiku erinevateks “süsteemideks”. Ohuallikate inventuur tehakse iga nn süsteemi jaoks (samm 1). Analüüsidest ohuallikaid saadakse ülevaade asjassepuutuvatest omadustest (samm 2). Meetmeid saab rakendada juba ohuallika tasemel (samm 7). Rakendatud meetmed teevad seadmestiku olemuselt ohutumaks.

Sarnaselt ohuallikatega määratletakse õnnetuse stsenaariumid iga süsteemi jaoks eraldi (samm 3). Iga stsenaariumi jaoks tuleb määratleda põhjused ja tagajärjed (samm 4). Selle informatsiooni põhjal saab hinnata stsenaariumi tõenäosust ja tõsidust (samm 5). Lõpuks, tuleb vormistada formaalne riskihinnang, et kindlaks teha, kas riskid on küllaldasel määral ohjutud (samm 6). Lähtuvalt sellest saab kehtestada (lisa)meetmed (samm 7). Pange siiski tähele, et

meetmeid saab kehtestada igal ajal ning et samm 7 kulgeb tegelikult paralleelselt sammudega 1 kuni 6.

Sellist informatsiooni struktuuri kasutatakse ohutusuringu suunamiseks. Lõpuks töötatakse informatsioonistruktuur ümber konkreetseks "ohutusdokumentatsiooniks". Ohutusdokumentatsiooni on skemaatiliselt kujutatud joonisel 2.2.



**Joonis 2.2:** Ohutusdokumentatsiooni üldine struktuur

Ohutusdokumentatsiooni kõrgeimal tasemel on "Seadme andmete leht", mis annab ülevaate sellest, kuidas tootmise seade on jagatud süsteemideks. "Süsteemi andmete leht" koostatakse iga süsteemi jaoks ning ta annab ülevaate ohuallikatest (kemikaalidest ja reaktsioonidest) ning peamistest õnnetusstsenaariumidest.

Ohuallika analüüsil täidetakse "Kemikaali andmete leht" ja "Reaktsiooni andmete leht". Sarnaselt ohuallikatele tehakse iga stsenaariumi jaoks "Stsenaariumi andmete leht", mis dokumenteerib põhjused ja tagajärjed ning tõsiduse ja tõenäosuse koos rakendatud meetmetega.

Kihilise struktuuri tõttu on soovitatav, et ohutusdokumentatsioon oleks juhitud tarkvaraprogrammiga (nt Microsoft Access'iga). Seetõttu on andmete lehed osas 2.2 esitatud

tabelite kujul, mida kasutab Microsoft Excel ja Microsoft Access. Mõistagi, võib ohutusdokumentatsiooni põhimõtteliselt teha ka “pliiatsi ja paberiga”.

Seadmestiku jagamine (samm 0) mängib ohutusdokumentatsiooni vormistamisel (seega ka ohutusuuringu läbiviimisel) võtmerolli. Pealegi, iga süsteemi puhul viiakse läbi ja dokumenteeritakse iga samm. Mida arvukamateks osadeks seadmestik jaotatakse, seda ulatuslikum ja põhjalikum on uuring.

Olemasoleva seadmestiku ohutusuuringu jaoks saab jaotamise süsteemideks valida koheselt. Selleks määratletakse iga oluline seadme osa (reaktor, destillatsioonikolonn, soojusvaheti jne.) eraldi süsteemina. Mingile süsteemile võib lisada torustiku või määratleda torustik eraldi süsteemina. See on kooskõlas jaotusega, mis tehakse tavaliselt Hazop-uuringu läbiviimisel.

Uue seadme kavandamisel tuleb süsteemideks jaotamist projekteerimise käigus pidevalt täiendada. Algul on võimalik määratleda vaid mõned põhiblokid – näiteks tooraine ladustamine, reaktsiooniblokk, vahesaaduste separaator jne. Hiljem on võimalik seadme iga osa täpsustada. Mingile ühele osale vastav süsteem asendatakse siis mitme süsteemiga, mis koosnevad ühest või enamast seadme ja torustiku osast.

Sellise jaotusega, mis jätkub astmeliselt seadme kavandamise käigus, määratakse ära ka ohutusuuringu kulg, mis kavandamise/projekteerimise käigus tuleb läbi viia. Plaan on järkjärgult, informatsiooni laekumist mööda, üles ehitada joonisel 2.1 kujutatud puu-struktuur nii laiuti kui sügavuti. Enamus kemikaale ja reaktsioone on teada juba kavandamise/projekteerimise alguses. Niipea, kui kemikaal või reaktsioon on teada, saab ta omadusi analüüsida ja meetmeid plaanida. Sellised kemikaalidest ja reaktsioonidest lähtuvad meetmed muudavad seadme olemuselt ohutumaks. Kui süsteemide kohta lisandub teavet, saab täpsemalt määratleda põhjusi ja tagajärgi ning rakendada meetmeid õnnetusi põhjustavate lekete takistamiseks või nende tagajärgede piiramiseks.

Selline lähenemine ohutusuuringutele projekteerimise käigus erineb põhjalikult traditsioonilisest lähenemisest, kus projekteerimisprotsessi erinevates faasides viiakse läbi erinevad sõltumatud analüüsid. Siinkirjeldatud lähenemisviisi puhul on järkjärgult projekteerimistööde käigus läbiviidud ohutusuuring üks tervik.

Individaalsed riskianalüüsid, nagu Hazop või vigade puu, pole selles mudelis mitte isoleeritud toimingud, vaid aitavad täita ohutusdokumentatsiooni. Enamgi, ohutusdokumentatsioon ise toimib kontroll-nimekirjana informatsiooni jaoks, mis tuleb igas astmes koguda.

Ohutusdokumentatsioon mängib ohutusuuringute teostamisel seetõttu kahest rolli: selle ülesehitusel on juhtiv, koordineeriv funktsioon ja andmete lehed funktsioneerivad kontrollnimekirjana.

Lisaks ohutusuuringu süstemaatilise tagamisele, mängib ohutusdokumentatsioon ka kesket osa ohutusjuhtimisesüsteemis. Peale kõige muu, annab ohutusdokumentatsioon ülevaate kõikidest meetmetest suurõnnetuse ennetamiseks. Meetmeid peab toetama ohutusjuhtimisesüsteem järgmiste vahendite abil:

- potentsiaalselt ohtliku seadmestiku korrashoid ja järelevalve;
- selged instruktsioonid personalile potentsiaalselt ohtlikku olukorda sekkumise puhuks;
- koolitus ja väljaõpe (treening) vastavalt neile instruktsioonidele;
- nende instruktsioonide kontrollimatu muutmise või kõrvaldamise takistamine.

Pealegi, struktureeritud ülevaade ohtudest, riskidest ja meetmetest on ideaalne lähtepunkt ohutusuuringute uuendamisel.

Lõpuks võimaldab ohutusdokumentatsioon ettevõttel näidata, et suurõnnetuse võimalikud ohud on määratletud ja vajalikud meetmed nende ohjamiseks rakendatud. Ettevõtte, kellel on oma seadmete jaoks korralik ohutusdokumentatsioon, on võimeline ohutusaruandes (OA-s) kirjeldama oma peamisi suurõnnetuse riske ilma liigsete lisapingutusteta.

Siin kirjeldatud ohutusdokumentatsioon pole asi, mida peaks võtma üks-üheselt. Ettevõtte võib kasutada loovust ja teadmisi selleks, et kohandada toodud ülesehitust ja andmelehti oma nõuetele ja vaadetele vastavaks.

## 2.2 Individuaalsed astmed

Ülalpool selgitati ohutusuuringu üldist käiku. Nägime, et ohutusdokumentatsioon täidab toetavat osa. Seda illustreerib punkt 2.2. Igale andmelehele joonisel 2.2 pakutakse välja vormistus.

### 2.2.1 Samm 0: seadmestiku jagamine

**Samm 0** hõlmab seadme jagamist erinevatesse süsteemidesse. Selle sammu tähtsust selgitati juba osas 2.1. Ülevaade (seadme) määratletud süsteemidest antakse *seadme andmelehel* (joonis 2.3).

Andmelehel antakse ka seadme lühikirjeldus ja juba läbiviidud ohutusuuringute kirjeldus.

Detailsema teabe süsteemi kohta saab kanda *süsteemi andmelehele* osasse “Süsteemi kirjeldus”, mis on kujutatud joonisel 2.4. See tabel annab muude asjade kõrval kokkuvõtte erinevatest komponentidest (seadmest ja torustikust), mis koos moodustavad süsteemi. Nii on iga süsteem selgelt välja toodud ja saab kontrollida, kas seadme iga komponent on kuskile süsteemi sisse lülitatud.

Seadme andmeleht		
<b>Nimetus</b>	<i>Antud seadme nimetus</i>	
<b>Lühike kirjeldus</b>	<i>Antud seadme kirjeldus</i>	
<b>Läbiviidud ohutusuuringud</b>		
<b>Kuupäev/ periood</b>	<b>Kirjeldus</b>	<b>Uuringu põhjus</b>
<i>Uuringu läbiviimise kuupäev/ periood</i>	<i>Kasutatud tehnika (nt Hazop jne.)</i>	<i>Nt perioodiline ülevaade, seadme modifitseerimine jne.</i>
<b>Süsteemid</b>		
<i>Määratletud süsteemide nimetused</i>		

**Joonis 2.3** Seadme andmeleht



Süsteemi andmeleht			
<b>Nimetus</b>	<i>Antud süsteemi nimetus</i>		
<b>Lühike kirjeldus</b>	<i>Antud süsteemi kirjeldus</i>		
<b>Süsteemi osad Nimetus</b>	<b>Kood</b>	<b>Projektijärgne töörõhk</b>	<b>Projektijärgne töötemperatuur</b>
<i>Osade nimetused</i>	<i>Nt TAG nr. või mõni muu identifitseerimis- kood</i>	<i>Osade projektijärgsed rõhud</i>	<i>Osade projektijärgsed temperatuurid</i>
<b>Süsteemi kirjeldus</b>	<b>Ohuallikate nimekiri</b>		<b>Stsenaariumide nimekiri</b>

Joonis 2.4 “Süsteemi kirjeldus” – osa Süsteemi andmelehel.

### 2.2.2 Samm 1: ohuallikate loetelu

Nagu osas 1 selgitati, teeme vahet kaht tüüpi ohuallikate vahel – kemikaalid ja reaktsioonid. Süsteemi andmelehel olev “Ohuallikate nimekiri” (joonis 2.5) võimaldab süsteemis sisalduvaid kemikaale ja reaktsioone loendada.

Süsteemi andmeleht		
<b>Nimetus</b>	<i>Antud süsteemi nimetus</i>	
<b>Normaaltingimustes süsteemis olevad kemikaalid</b>		
<b>Nimetus</b>	<b>Kogus</b>	
<i>Kemikaali nimetus</i>	<i>Süsteemis oleva kemikaali kogus</i>	
<b>Mittenormaalsetes tingimustes süsteemis olevad kemikaalid</b>		
<b>Nimetus</b>	<b>Kogus</b>	
<i>Kemikaali nimetus</i>	<i>Süsteemis oleva võimaliku kemikaali kogus</i>	
<b>Soovitud reaktsioonid</b>		
<b>Nimetus</b>	<b><math>\Delta P_{\max}</math></b>	<b><math>\Delta T_{\max}</math></b>
<i>Süsteemis toimuva soovitava reaktsiooni nimetus</i>	<i>Maksimaalne rõhu tõus, mida süsteemis toimuv reaktsioon võib põhjustada</i>	<i>Maksimaalne temperatuuri tõus, mida süsteemis toimuv reaktsioon võib põhjustada</i>

Mittesoovitud reaktsioonid		
Nimetus	$\Delta P_{\max}$	$\Delta T_{\max}$
<i>Süsteemis toimuva mittesoovitava reaktsiooni nimetus</i>	<i>Maksimaalne rõhu tõus, mida see reaktsioon võib põhjustada</i>	<i>Maksimaalne temperatuuri tõus, mida see reaktsioon võib põhjustada</i>
<b>Süsteemi kirjeldus</b>	<b>Ohuallikate nimekiri</b>	<b>Stsenaariumide nimekiri</b>

**Joonis 2.5** “Ohuallikate nimekiri” – osa Süsteemi andmelehel

### A. Kemikaalid

Kemikaalide inventuuri teostades ei tohi piirduda “põhitegijatega”. Kemikaalid, mida on väikestes kogustes või mis ei mängi protsessis aktiivset osa, võivad samuti anda suure panuse ohupotentsiaali – näiteks nad võivad viia soovimatute reaktsioonideni.

Lisaks on tähtis määrata ka, millised kemikaalid võivad süsteemis esineda mittenormaalsetes tingimustes. Et sellele tähelepanu juhtida, on andmelehel “Ohuallikate nimekiri” eristatud “kemikaalid, mis esinevad normaalsetes tingimustes” ja “kemikaalid, mis esinevad mittenormaalsetes tingimustes”.

Tabel 2.2 on esimene aste mittenormaalsetes tingimustes esinevate kemikaalide nimekirja suunas.

<b>Tabel 2.2</b>
<b>Kontroll-leht mittenormaalsetes tingimustes esinevate kemikaalide loetelu tegemiseks</b>
Millised kemikaalid võivad tekkida järgmiste mittenormaalsete tingimuste korral? <ul style="list-style-type: none"> <li>● tagasivool allavoolu asetsevatest osadest;</li> <li>● läbimurre ülesvoolu asetsevatest osadest;</li> <li>● lekked soojusvahetis;</li> <li>● vale reagentide järjekord perioodilistes ja poolperioodilistes reaktorites;</li> <li>● saaste produkti joas;</li> <li>● reaktsiooniproduktid mittesoovitud reaktsioonidest;</li> <li>● kemikaalid, mis on süsteemi jäänud pärast rõhutesti;</li> <li>● kemikaalid, mis on süsteemi jäänud pärast remonti;</li> <li>● valed (erinevad) hooldusained (määrdeõlid, rasväratusproduktid, jne);</li> <li>● jne.</li> </ul>

### B. Reaktsioonid

Nii nagu kemikaalide puhul, et teha süstemaatilist reaktsioonide inventuuri, tuleb eristada ka soovitavaid ja mittesoovitavaid reaktsioone.

Ilmselt on protsessis soovitavad reaktsioonid teada ning nende täielik loetelu pole probleem. Kuid inventuur ei tohi piirduda tegelike sünteesireaktsioonidega. Soovitud reaktsioonid võivad kulgeda ka süsteemi nendes osades, mis pole “reaktorid”. Sellest aspektist lähtuvalt võib mõelda, näiteks, küttekollete, toormaterjali puhastusseadmete, jääkproduktide töötlemis-seadmete jms. peale. Ebasoovitavate reaktsioonide inventuuri saab süstematiseerida, kasutades vastastikuse toime maatriksit koos kõikide selle süsteemi inventariseeritud kemikaalidega. Edasi tuleb veenduda, et ühegi kemikaaliga ei toimuks “autoreaktsiooni”. See on reaktsioon

iseendaga. On kolm põhilist autoreaktsioonide vormi: polümeerisatsioon, lagunemine ja isomerisatsioon. Edasisi selgitusi võib leida Metatechnica publikatsioonist CRC/MT/002 (viide/5/). Viites /6/ on informatsioon paljude kemikaalide reaktsioonivõime kohta.

Definitsiooni kohaselt on reaktorites reaktiivsed ühendid ning, enamgi, protsessi tingimused (kontsentratsioon, rõhk, temperatuur) võivad seda tüüpi aparatuuris palju muutuda. Seetõttu pälvib ebasoovitavate reaktsioonide uurimine reaktorites erilist tähelepanu.

### 2.2.3 Samm 2: Ohuallikate analüüs

Kemikaale ja reaktsioone on defineeritud kui ohuallikaid. See, kui suures ulatuses kemikaalid ja reaktsioonid tegelikult ohtu kujutavad, selgub nende ohtlike omaduste analüüsist. Nii kemikaalide kui reaktsioonide puhul teeme vahet nn iseloomulike omaduste ja seadmega seotud omaduste vahel.

#### A. Kemikaalid

##### A.a. Iseloomulikud omadused

See on samm, kus uuritakse kemikaalile iseloomulikke omadusi, mis on võimelised esile kutsuma kemikaali pihkumise keskkonda ja selle kaudu kahju tekitama.

Andmelehtedel, kus loetletakse üksikute kemikaalide kõik vastavad omadused, tuleb taotleda andmete kõikehõlmavust. Iseloomulikud omadused tuuakse ära kemikaali andmelehe osana ja on kujutatud *joonisel 2.6*.

Kemikaalile iseloomulikke ohtlikke omadusi saab objektiivselt määrata katsetega. Enamuse kemikaalide ja reaktsioonide omadused on juba määratud ja publitseeritud teaduslikes töodes ja artiklites. Tarnitavate kemikaalide puhul saab detailse informatsiooni saamiseks alati nõu pidada tootjaga. Ohutuskaardilt saadav informatsioon on tavaliselt liiga piiratud.

Õnnetusjuhtumite kirjeldus annab samuti väga kasulikku teavet kemikaalide ohupotentsiaali kohta. Juhul kui ei ole saadaval küllaldaselt teavet kemikaalide ja reaktsioonide ohtudest, peab ettevõtte ilmutama initsiatiivi vajalike katsete läbiviimiseks. Pealegi moodustab ohuanalüüs täieliku ohutusuringu aluse. Seega pole vastuvõetav olukord, kus ettevõtte ei oma informatsiooni kõikide kasutatavate kemikaalide ja reaktsioonide kohta.

<b>Kemikaali andmeleht</b>			
<b>Identifitseerimine</b>			
<b>Nimetus</b>	<i>Kemikaali nimetus</i>		
<b>CAS nr.</b>	<i>CAS nr.</i>	<b>Ohutunnused:</b> <i>F, F+, T, T+, ...</i>	
<b>R ja S laused</b>	<i>R ja S laused</i>		
<b>Akutu ne respiratoorne mürgisus</b>			
<b>Iseloomulik väärtus</b>	<i>Nt IDHL või LC<sub>50</sub> väärtused (lühiajalise mõju tagajärjed kõrgetel kontsentratsioonitasemetel)</i>		
<b>Kirjeldus</b>	<i>Kirjelda üksiku kõrge kontsentratsioonitaseme mõju tagajärge</i>		
<b>Tulekahju või plahvatus</b>			
<b>Leekpunkt</b>	°C	<b>Põlemissoojus</b>	kJ/kg
<b>Isesüttimistemperatuur</b>	°C	<b>LEL</b>	Mahu% õhus
<b>Süttimisenergia</b>	mJ	<b>UEL</b>	Mahu% õhus
<b>Elektrostaatiline laeng</b>	<i>Kirjelda kemikaali võimet tulla elektrostaatiliselt laetuks</i>		

<b>Põlevad produktid</b>	<i>Kirjeldada põlevaid reaktsiooniprodukte</i>	
<b>Märkused</b>	<i>Produktide käitumine tulekahju või plahvatus korral</i>	
<b>Stabiilsus</b>		
<b>Lagunemistemperatuur</b>	<i>“Isekiirenev” (self-accelerating) lagunemistemperatuur °C</i>	
$\Delta H_{lag}$	<i>Lagunemisentalpia J/g</i>	
<b>Arutelu</b>	<i>Sõltuvalt <math>\Delta H_{lag}</math> pole süttimis- ega plahvatusohtu (vt. Viide /5/). Siinkohal võib ära märkida ka teiste produktide mõju lagunemistemperatuurile (ioonid, metalliosakesed).</i>	
<b>Polümerisatsioon</b>		
<b>Reaktsiooni entalpia</b>	Reaktsiooni entalpia J/g	
<b>Arutelu</b>	<i>Tingimused, mille puhul polümerisatsioon võib aset leida (temperatuur, rõhk, katalüsaatorid jne.)</i>	
<b>Mürgisus naha kaudu</b>		
<b>Tüüpiline väärtus</b>	Nt nahapinna suurus fataalse kahjustuse korral	
<b>Arutelu</b>	<i>Arutelu tagajärgedest tervisele</i>	
<b>Reaktiivsus</b>		
<b>Veega</b>	<i>Veetilkade, õhuniiskuse, veeauruga jne.</i>	
<b>KWSga</b>	<i>Kemikaali oksüdeerivad omadused</i>	
<b>Hapete ja alustega</b>	<i>Käitumine kokkupuutel hapete, leelistega</i>	
<b>Konstruktiooni- materjalidega</b>	<i>Metallid, plastmassid jt. tavalised konstruktsiooni/ ehitusmaterjalid</i>	
<b>Iseloomulikud omadused</b>	<b>Seadmega seotud omadused</b>	<b>Meetmed</b>

**Joonis 2.6** “Iseloomulikud omadused” – osa Kemikaali andmelehel

### **A.b. Seadmetega seotud omadused**

Lisaks iseloomulikele omadustele annavad kemikaali võimesse ohtu põhjustada oma panuse seadmetega seotud omadused. Seadmetega seotud omadused on dokumenteeritud kemikaali andmelehe osana (joonis 2.7).

Esimene tähtis seadmetega seotud omadus on aine füüsikaline olek. Vedelgaasi leke on ohtlikum kui aine vabanemine gaasilisel kujul. See on ka palju ohtlikum kui vedeliku vabanemine, sest aurustumiskiirus on suurem. Enamgi veel, veeldatud gaas võib viia BLEVE-ni.

Seadmetega seotud omaduste andmelehele saab sisse viia füüsikalise oleku: rõhu all olev gaas, rõhu all olev vedelik, allajahutamisel saadud vedelik jne.

Loomulikult võib sama kemikaal olla samas süsteemis erinevates füüsikalistes olekutes.

Teine tähtis omadus on olemasolev kemikaali kogus. Seadmetega seotud omaduste alla võib loetleda kemikaali koguse iga füüsikalise oleku jaoks eraldi.

Edasi on lehtedel väljad, millesse võib märkida, kas protsessi temperatuur on kõrgem (või mitte) kui leekpunkt ja isesüttimistemperatuur – s.o “ $T_{lp} - T_{pt}$ ” en “ $T_{ist} - T_{pt}$ ”.

<b>Kemikaali andmeleht</b>		
<b>Nimetus</b>	<i>Kemikaali nimetus</i>	
<b>Funktsioon või esinemispõhjus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>normaaltingimustes esinevate kemikaalide puhul – kemikaali funktsioon süsteemis (reagent, katalüsaator, solvent jne.), lisand, inertgaas jne.</i></li> <li>- <i>mittenormaalsete tingimuste puhul, tingimused või põhjused, mille korral kemikaal süsteemis esineb</i></li> </ul>	
<b>Füüsikaline olek</b>	<b>Kogus</b>	
<i>Nt: rõhu all olev gaas, rõhu all olev vedelik, rõhu all veeldatud gaas, jahutamisel veeldatud gaas jne.</i>	<i>Igas füüsikalises olekus oleva kemikaali kogus</i>	
$T_{lp}-T_{pt}$ – <i>leekpunkti ja protsessi temperatuuri erinevus</i>	$T_{ist}-T_{pt}$ – <i>isesüttimistemperatuuri ja protsessi temperatuuri vahe</i>	
<b>Iseloomulikud omadused</b>	<b>Seadmega seotud omadused</b>	<b>Meetmed</b>

Joonis 2.7 “Seadmetega seotud omadused” – osa Kemikaali andmelehelt

## **B. Reaktsioonid**

### **B.a. Iseloomulikud omadused**

Reaktsioonid on ohtlikud juhul, kui nad võivad viia temperatuuri või rõhu tõusuni seadme selles osas, kus nad toimuvad. Sellega seotud iseloomulikud omadused on reaktsioonisoojus ja gaaside teke. Peale selle on oluline kiirus, millega energia või gaasid vabanevad.

<b>Reaktsiooni andmete leht</b> <i>Identifitseerimine</i>	
<b>Reaktsiooni nimetus</b>	<i>Reaktsiooni nimetus</i>
<b>Reaktsiooniskeem</b>	<i>Reagentid → Reaktsiooniproduktid</i>
<b>Omadused</b>	
<b>Reaktsioonitingimused</b>	<i>Temperatuur, rõhk, kontsentratsioonid, kogused, voolukiirused jne.</i>
$\Delta H_r$	<i>Reaktsioonisoojus, J/g</i>
$\Delta M_c$	<i>Erinevus reagentide ja reaktsiooniproduktide moolide arvus gaasifaasis</i>
$C_0$ (J/kg°C)	<i>Reaktsioonimassi soojusvõimsus</i>
<b>Reaktsiooni kineetika</b>	<i>Reaktsioonikiiruse valem või tüüpväärtused või kiiruse kvalitatiivne kirjeldus</i>
$DQ_z/dt$	<i>Soojustekke kiiruse arvutamise valem või vastavad iseloomulikud väärtused või kiiruse kvalitatiivne kirjeldamine</i>
$DM_{zc}/dt$	<i>Valem gaaside teke kiiruse arvutamiseks või tüüpilised kiiruse väärtused või kvalitatiivne kirjeldamine</i>
<b>Arutelu</b>	<i>Lahter teiste asjassepuutuvate omaduste kirjeldamiseks</i>

Joonis 2.8 “Iseloomulikud omadused” – osa Reaktsiooni andmelehelt

## B.b. Seadmega seotud omadused

Reaktsiooni ohupotentsiaali saab väljendada reaktsiooni poolt esile kutsutud maksimaalse temperatuuri ja rõhu tõusuna. Nende väärtuste määramiseks, tuleb teha oletus reaktsiooni tingimuste kohta: millised reagentid millistes kogustes osalevad või millise voolukiirusega nad lisanduvad reaktsioonisegusse jne. Kuna meid huvitab reaktsiooni kahjupotentsiaal, on reaktsioonitingimused kõige ebasoodsamad (kuid siiski realistlikud) tekkida võivad tingimused. Näiteks, puhta perioodilise reaktsiooni puhul on selleks kemikaalide olemasolu stöhhiomeetrilistes suhetes ning jahutuse puudumine.

Mõnedes teistes olukordades pole lihtne määratleda “halvimaid juhuseid”. Näiteks, poolperioodiliste reaktsioonide juures võime mõelda järgmistest situatsioonidest:

- maksimaalne reagentide lisamiskiirus ja jahutuse puudumine;
- reagentide kogunemine reaktoris juhul, kui reaktsiooni mingil põhjusel ei alanud.

Pideva reaktori jaoks võiks halvim stsenaarium olla: reaktori blokeerumine ja jahutussüsteemi rivist väljaminek. Nende keerulisemate situatsioonide puhul on võimalik ja vajalik analüüsida mitmeid halvima-juhu stsenaariume.

Pange tähele, et ülaltoodud näited puudutasid reaktoreid. Tuleb mõistagi teha oletusi ka ebasoovitavate reaktsioonide kohta. Kujutage näiteks ette juhust, kus jahutustoru sisemise lekke tõttu leiab aset reaktsioon jahutusagendi ja jahutatava aine vahel.

Halvima juhu stsenaariumide määratlemisel kas ei ole arvestatud või on liiga vähe arvestatud nende esinemise tõenäosust. Samuti tuleb arvesse võtta kontrolli- ja ohutussüsteeme, mis on rajatud või rajatakse selliste situatsioonide ärahoidmiseks. Lõppude-lõpuks näitavad halvima juhu stsenaariumid ära, kui usaldusväärsed need meetmed peavad olema. Näiteks, juhul kui ilmneb, et halvima juhu stsenaariumi ei saa ennetada rõhu alandamisega, on meetmed halvima juhu stsenaariumi ärahoidmiseks loomulikult palju tähtsamad kui juhul, kui rõhu alandamine oleks võimalik. Tavaliselt on ebatõenäolisi halvima-juhu reaktsioone kergem identifitseerida ja hinnata, kui reaalsemaid juhte. Kuid kui leitakse, et nende “kergemate” halvima juhu tingimuste puhul on ohupotentsiaal väike või see on kontrollitav rõhu alandamise ohutusseadme abil, kehtiks see seda enam “raskemate”, realistlikumate stsenaariumide puhul.

Reaktsiooni andmeleht		
<b>Reaktsiooni nimetus</b>	<i>Vaatluse all olev reaktsioon</i>	
<b>Halvima juhu reaktsioonitingimused</b>	$\Delta\rho_{\max}$	$\Delta T_{\max}$
<i>Kõige ebasoodsamate tingimuste kirjeldus, milles reaktsioon võib toimuda ja mille tulemusel tekib maksimaalne hulk gaase või energiat</i>	<i>Maksimaalne rõhu tõus eelmises tulbas kirjeldatud tingimuste puhul</i>	<i>Maksimaalne temperatuuri tõus eelmises tulbas kirjeldatud tingimuste puhul</i>
<b>Iseloomulikud omadused</b>	<b>Seadmega seotud omadused</b>	<b>Meetmed</b>

Joonis 2.9 “Seadmetega seotud omadused” – osa Reaktsiooni andmelehelt

### 2.2.4. Samm 3: Õnnetusstsenaariumide määratlemine

Trükise kontekstis on “õnnetusstsenaariumid” ohtlike kemikaalide või energia soovimatud vabanemised, mida tavaliselt nimetatakse ”ohjamise kadu” (LOC – *loss of containment*). Pole siiski mingit mõtet määratleda iga süsteemi jaoks üht üldist LOC stsenaariumi.

Esiteks seetõttu, et lekkestsenaariumi ei saa määratleda ühel ainsal viisil. Tõepoolest, vabanemise viis sõltub mehhanismist, mis selle põhjustas. Korrosioonist põhjustatud piiratud ulatusega leke võib kasvab järk-järguliselt suuremaks; purunemise korral toimub leke äkki ja ettehoiatamatult.

Teiseks, pole suurt mõtet määrata ühe üldise vabanemis(lekke)stsenaariumi tõenäosust. Pealegi kasutatakse tõenäosuslikku lähenemist riskihinnangu selles etapis kus otsustatakse meetmete rakendamise üle.

Rakendatavad meetmed sõltuvad ka lekke põhjustest. Seetõttu tundub loogilisem määrata üksikute juhtude (põhjuste) tõenäosused (seega piiritleda stsenaariumid). Näiteks, selleks, et hinnata ohutusseadet, mis on kavandatud kontrolli alt väljunud reaktsiooni ohjamiseks, pole suurt mõtet teada reaktori lekke üldist tõenäosust (mida määravad ka teised tegurid, mitte üksnes kontrolli alt väljumine).

Siin on kasutatud lähenemisviisi, kus ühe õnnetusstsenaariumi korral esineb üks lekke “põhjusjõud”. “Põhjusjõudude” näideteks on: sisemine plahvatus, reaktsiooni kontrolli alt väljumine (“*runaway*”), vedelike soojuslik paisumine suletud süsteemis, suletud ventiiliga pumpamine, läheduses toimunud plahvatuse kild, korrosioon, põhivahendite kulumine, välise põlenguleegi kontakt metallpinnaga, jne. Ka inimtegevus võib olla lekke põhjusjõuks: kujutlege vaid pehme vooliku lahtihaakimist, mis veel produkti sisaldab. Tegelikult võib neid põhjusjõude vaadelda tahtmatu lekke algatajatena ja edaspidi käsitleme neid kui “algpõhjusti”. Tehnikaid, mida saab kasutada algpõhjuste identifitseerimiseks, käsitletakse astmes 4.

Ülevaadet kõikidest stsenaariumidest hoitakse süsteemi andmelehe osas “stsenaariumide loetelu” (vt joonis 2.10). Väljade “tagajärjed” ja “tõenäosus” täitmist selgitatakse osas 2.2.6.

Süsteemi andmeleht		
Nimetus	<i>Vaatluse all oleva süsteemi nimetus</i>	
Õnnetuse stsenaariumi nimetus	Järeldused	Tõenäosus
<i>Iga algpõhjuse puhuks määratletakse õnnetuse stsenaarium, mida nimetatakse vastavalt algpõhjusele</i>	<i>Tagajärje hinnang</i>	<i>Toimumise võimaluste hinnang</i>
Süsteemi kirjeldus	Ohuallikate loetelu	Stsenaariumide loetelu

Joonis 2.10 “Stsenaariumide loetelu” – osa Süsteemi andmelehelt

### 2.2.5. Samm 4: põhjuste ja tagajärgede määratlemine

Õnnetusstsenaariumide määratlemisega oleme tegelikult alustanud süsteemi lekete põhjuste väljaselgitamist.

Mõnedel põhijuhtudel on nende esinemise põhjused triviaalsed. Näiteks, liikuvate osade puhul on pumbatihendite kulumine endastmõistetav ega vaja edasist põhjendamist. Mõningatel teistel juhtudel nagu kontrolli kaotamine reaktsiooni üle, on vaja need algpõhjused leida, et järgnevalt saaks otsustada meetmete üle. Need põhjused on loetletud “stsenariumi andmelehel” horisontaalses puustruktuuris (joonis 2.11). Põhjused (*causes*) on nummerdatud nii, et neile saab viidata rakendatud meetmete kirjelduses (Cs.1, Cs.1.1 jne.).

Lisaks põhjustele tuleb määratleda lekke tagajärjed, et saaks rakendada meetmeid kahju vähendamiseks. Tagajärjed (*consequences*) on samuti nummerdatud, et neile saaks viidata rakendatud meetmete kirjelduses (Cn.1, Cn.2 jne.).

<b>Stsenariumi andmeleht</b>			
<b>Süsteem</b>	<i>Süsteemi nimi, mida haarab uuritav õnnetus-stsenarium</i>		
<b>Stsenarium</b>	<i>Lühike kirjeldus (nt leke korrosiooni tõttu, reaktsioonist tingitud ülerõhk)</i>		
<b>Põhjused</b>	<i>Cs.1(põhjus 1)</i> <i>Cs.1.1(põhjus 1.1)</i> <i>Cs.1.1.1 (põhjus 1.1.1)</i> <i>Cs.1.1.2 (põhjus 1.1.2)</i> <i>Cs.1.2 (põhjus 1.2)</i> <i>Cs.2 (põhjus 2)</i> <i>Cs.3 (põhjus 3)</i>		
<b>Tagajärjed</b>	<i>Cn.1(tagajärg 1)</i> <i>Cn.2 (tagajärg 2)</i> <i>Cn.3(tagajärg 3)</i>		
<b>Tõenäosus</b>	<i>Stsenariumi tõenäosuse hinnang</i>	<b>Tõsidus</b>	<i>Stsenariumi tagajärgede tõsiduse hinnang</i>
<b>Põhjused ja tagajärjed</b>		<b>Meetmed</b>	

**Joonis 2.11** “Põhjused (Cs) ja tagajärjed (Cn)” – osa Stsenariumi andmelehel

### **A. Kontroll-lehed**

Kontroll-leht on hea meetod selleks, et teha kiiresti ja suhteliselt lihtsalt mingi süsteemi peamiste algpõhjuste inventuur.

Lühike näidete loetelu on antud määratluse “algpõhjus” illustreerimisel. Iga ettevõtte võib seda loetelu laiendada ulatuslikuks kontrollnimekirjaks. Ideid selle teostamiseks võib leida viitest /7/, mis sisaldab tüüpilisi ebaõnnestumiste stsenariume tüüpilise tootva tööstuse seadmetiku puhuks (rõhuanumad, reaktorid, soojusvahetid jne.) ning samuti tüüpilisi probleemide lahendusi (“võimalikke konstruktsioonilahendeid”).

### **B. Vea-puu analüüs**

Vea-puu analüüs on selge tehnika määratlemaks põhipõhjuste aluseks olevaid algpõhjuseid. Vea-puu tipuks on põhipõhjus.

Pange tähele, et meie lähenduses ei ole vea-puu eesmärk arvutada kvantitatiivselt stsenariumi tõenäosust. Need on abiks lekke algpõhjuste piiritlemisel struktuurse liigendamise teel, eesmärgiga olla võimeline kavandama meetmeid. Nende meetmete ebaõnnestumist ei pea käsitlema süstemaatiliselt ja teaduslik täpsus pole asjakohane. Kirjeldatud vea-puud põhipõhjuse väljatoojana ei pea seetõttu olema nii keerulised ja aeganõudvad kui nende analoogid kvantitatiivses riskianalüüsis.



Kontroll-lehe meetod ja vea-puu analüüs on head tehnikad projekteerimise käigus enamike põhjuste identifitseerimiseks. Projekteerimise lõpul, kui torustik ja seadmed on omandamas lõplikku kuju, võib põhjusi identifitseerida näiteks Hazopi tehnikat kasutades.

### **C. Hazop**

Hazop on riskianalüüsi tehnika, mida kasutatakse (töötlevas) tööstuses kindlasti kõige sagedamini. On palju tegureid, mis seletavad Hazopi edu. Kõigepealt, seda meetodit rakendatakse kindlapiirilisele objektile – s.o torustiku ja seadme diagrammile. Pealegi pakub Hazop hästi süstematiseeritud lähenemist. Riskide identifitseerimise protsessi toetavad Hazopi meetodi tõstatatud konkreetset küsimused ning seda seadme iga osa puhul, millele meetodit rakendatakse.

Hazop on siiski tõestamistehnika, milline asjaolu piirab tema kasutamist. Trevor Kletz kirjutab oma raamatus “Hazop ja Hazan” /8/ järgmist:

*“Hazop on viimane usaldusväärne kontroll selleks, et kindlaks teha, et ükski ettenägematu mõju pole kahe silma vahele jäänud. See ei tohiks asendada tavalisi konsultatsioone ja arutelusid, mis toimuvad seadme väljatöötamisel”.*

Need “konsultatsioonid ja arutelud seadme väljatöötamisel” on vajalikud selleks, et integreerida osas 1.1.4 kirjeldatud ennetus-strateegia seadme kavandisse. On kaks põhjust, miks Hazop, mis viiakse läbi kavandamise lõppstaadiumis, ei haaku selle ennetus-strateegiaga.

Esimene põhjus on praktilist laadi. Kavandamise lõppastmes pole tavaliselt enam võimalusi suurte muudatuste tegemiseks. Trevor Kletz väljendab seda nii /8/:

*„Hazop, nagu seda siin kirjeldatud on, viiakse läbi kavandamise hilisstaadiumis. See toob esile ohud ja juhtimisprobleemid ajal, mil neid saab parandada kustutuskummi, mitte keevitus-aparaadiga, kuid siiski ajal, kui on liiga hilja viia seadmesse/projekti fundamentaalseid muudatusi.”*

Teise põhjuse puhul on tegemist Hazop-uuringule omase tüüpilise töömeetodiga, milles põhisituatsiooni võetakse sellisena nagu see on. **Uuring teostatakse ulatuses, kus kõrvalkalded võivad viia probleemideni, mitte ulatuses, kus kõrvalkalded võivad lõppastmes viia võimaliku paranemiseni ohutuse seisukohast.** Näiteks, kui märksõna “kõrge temperatuur” rakendada poolperioodilisele reaktorile, siis Hazopi-iga uuritakse seda, kas kõrge temperatuur võib viia kontrolli alt väljuva (ebasoovitava) reaktsioonini. Tavaliselt pole Hazopi puhul eesmärk uurida seda, kas kõrgem töötemperatuur muudab ebasoovitava reaktsiooni toimumise vähem ohtlikuks või vähem tõenäoliseks. Pealegi, projekti on juba hilja vaidlustada. Hazop on tõestustehnika, mitte projekteerimistehnika. Sel põhjusel meetmed, mis lähtuvad Hazopist, on sageli piiratud pigem lisatehnika rakendamisega, kui seadme projekti optimeerimisega, kus rakendatakse seadmele endale omast ohutuse põhimõtet. Võimalused selleks tekkivad peamiselt uute seadmete või oluliste modifikatsioonide projekteerimisel. Limiteerides projekteerimisprotsessis riskide identifitseerimist Hazopiga, vähenevad võimalused üldise ennetusstrateegia rakendamiseks oluliselt.

Järelikult ei saa ebasoovitavate ilmingute identifitseerimine olla piiratud vaid lõpp-projekti Hazop-uuringuga.

Lisaks sellele tuleb märkida, et Hazop-uuring ei kata riskianalüüsi sellisena, nagu seda on kujutatud käesolevas trükises (s.o ainete ja reaktsioonide analüüsi). Lisaks on Hazop-uuringul mõtte vaid juhul, kui selline riskianalüüs on eelnevalt läbi viidud ning kui Hazop-arutelul osalejad on teadlikud selle analüüsi tulemustest. Ning lõpuks, inimestel peab olema hea

ettekujutus probleemidest, mida on oodata juhul, kui toimub kõrvalekalle protsessitingimustes või vale komponendi kasutamise korral. Näiteks, et teada, kas kõrgem temperatuur viib suurte riskideni või mitte, peab tundma ainete käitumist kõrgematel temperatuuridel. Kui tagasivool tähendab seda, et kaks kokkusobimatut ainet sattuvad kontakti, siis võttesõna “tagasivool” viib ainult siis mingi tulemuseni, kui analüütikute meeskond tunneb reaktsiooni ja selle ohupotentsiaali.

Eelpool öeldust ei tule järeldada, et ollakse vastu Hazop-i kasutamisele. Ka ei soovita kahtlust heita panusele, mida see tehnika on andnud tootva tööstuse ohutusse. Vastupidi, ollakse Hazop-uuringute, kui torustiku ja (mööde)seadmete lõpp-skeemide hindaja, suur pooldaja. Hindamisele peab aga ikkagi eelnema asjakohane riskianalüüs seadme kavandamise käigus. Selline eelnev analüüs peab põhimõtteliselt tooma välja enamiku stsenaariumidest ning selle analüüsi põhjal peab olema määratletud juba ka hulk meetmeid. Mistahes Hazop-uuringu käigus identifitseeritud iga uus põhjus ning kavandatud lisameetmed (kui neid on) peavad olema kirjas ohutusdokumentatsioonis. Peale selle, Hazop-uuring ei pea andma struktuurset ülevaadet õnnetuse põhistsenaariumidest.

### **2.2.6 Samm 5: tõsiduse ja tõenäosuse hindamine**

Siinkohal antud seletus on piiratud nn “vaheriskide” hinnanguga, mis on defineeritud selle trükise osas 1.

#### **A. Tõsiduse faktor**

Kogu tagajärgede skaala tuleb jaotada erinevateks tõsidusastmeteks. Näiteks, pole erilist mõtet teha laiaulatuslikku jaotust surmajuhtumite arvu järgi. Seveso direktiiv ei anna samuti alust selleks, et teha vahet õnnetustes, mis lõpevad ühe, kahe või kolme surmajuhtumiga. Niipea, kui üks töötaja on kaotanud elu ohtlike ainetega seotud õnnetuses, klassifitseeritakse seda suurõnnetusena. Enamgi, eetilisest vaatepunktist pole vastuvõetav vahetegemine meetmete vahel sõltuvalt sellest, kas surma sai üks, kaks või kolm inimest. Ehitustellinguid ei tehta ju ohutumaks kui seal töötab kolm inimest kahe asemel. Miks peaks tegema sellist vahet kemikaalidest tuleneva ohu korral?

Peab aga märkima, et riskidiagrammid, mida on kirjeldatud Saksa standardis DIN V 19250, teevad vahet surmajuhtumite arvu järgi. Riskidiagramm eristab nelja järgnevat tõsidusklassi (astet):

- klass C1: kerge trauma;
- klass C2: ühe või mitme inimese permanentne vigastus või üks surmajuhtum;
- klass C3: mitmed surmajuhtumid;
- klass C4: palju surmajuhtumeid.

Kuna selles standardis klassifitseeritakse üht surmajuhtumit suhteliselt lihtsa tagajärjena (tagantpoolt teine tagajärjeklass), klassifitseeritakse ühe surmajuhtumi riski samuti tõenäoliselt madalas riskiklassis. See läheb vastuollu Seveso direktiivi põhimõttega, mis loeb surmajuhtumi suurõnnetuseks ja suurõnnetuse risk nõuab kõrget kaitstuse astet. Riskidiagrammile võib teha veel teisigi vastuväiteid. Neid käsitletakse punktis 2.2.6. C: ”Teised faktorid”.

Kogu eristatavate klasside arv ei tohiks olla liiga suur. Mida rohkem klasse, seda suuremaks läheb “vea lubatav piir” ja “subjektiivse hinnangu lubatav piir”.

Tasakaalus olev tõsidusklasside määratlus võiks välja näha järgmine:

- klass S1: kohalik trauma, ravitavad kahjustused;
- klass S2: tõsine kahjustus, jäävad vigastused;
- klass S3: surmajuhtum, kuid vaid kohalikud (ettevõtte-sisesed) tagajärjed;
- klass S4: ettevõtte-välised tagajärjed.

Et vältida tagajärgede hindamisel niipalju kui võimalik subjektiivsust, on soovitatav, et tagajärgede klasside kirjeldust laiendaksid tüüpiliste vigastuste ja kahjustuste näited, mis võiksid olla võrdlusmaterjaliks.

## **B. Tõenäosuse faktor**

Nii nagu tõsiduse faktori puhul, on oluline määratleda tõenäosuse klassid üheselt ja selgelt.

Klasside kirjeldus ei tohi olla piiratud üldiste väljendustega nagu “väga tõenäoline”, “tõenäoline” või “sagedane”. Nende sõnade konkreetne interpretatsioon on erinevate inimeste puhul erinev.

Tõenäosuse faktori objektiivsemaks muutmisel on esimene aste suurusjärgude omistamine. Edasi võib subjektiivsust vähendada jagades *a priori* tüüpilised sündmused erinevatesse tõenäosuse klassidesse, nagu näiteks seadme rike või inimlikud vead. Mõistagi, tuleb seda teha eelistatult omaenda kogemuse põhjal. Kui sellised andmed pole kättesaadavad, on parim variant moodustada süsteem selliste andmete kogumiseks. Senikaua võib viidata kirjandusele ja seadme tarnija andmetele.

On vähe mõtet sisse seada palju alajaotusi väga madalate tõenäosuse astmete jaoks. Sellised sagedusastmed nagu “üks sajatuhande aasta jooksul” on mõttetud inimese jaoks, kelle ettekujutus ajast hõlmab mõnda aastakümnet. Teame, et alates ajast, mil tootev tööstus on eksisteerinud omaette haruna – s.o mitte rohkem kui 50 aastat – on ta juba põhjustanud arvutult õnnetusi ja suurõnnetusi.

Nii, et praktikas ei tule meil oodata kümmetuhat aastat, et juhtuks suurõnnetus.

Allpool üks võimalik klassifikatsioon:

- P4: väga tõenäoline. Intsidend toimub oodatavalt mitmeid kordi seadme eluea jooksul. P4 suurusjärg on üks kord aastas.
- P3: tõenäoline. Intsidend toimub oodatavalt kord seadme eluea jooksul. P3 suurusjärg on üks kord 10 aasta jooksul.
- P2: harv. Intsidend toimub oodatavalt kindlasti harvemini kui kord seadme eluea jooksul. Intsidend on siiski juba toimunud ja kuulub “tuntud nähtuste” hulka. P2 suurusjärg on kord 100 aasta jooksul.
- P1: väga harv. Intsidendist puudub konkreetne kogemus, kuid seda ei saa täielikult välistada.

## **C. Teised faktorid**

Mõned standardid, nagu Saksa DIN V 19250 esitavad rohkemgi faktoreid, nagu ohu edasikandumine ja inimeste juuresolek. Belgia pädev asutus ei poolda selliste lisafaktorite kasutamist riskide hindamisel.

Üldiselt teevad need riskihinnangu keerulisemaks. Mida rohkem faktoreid on võetud arvesse, seda rohkem võimalusi on loodud väga erinevate lõpptulemusteni jõudmiseks kuna lubatakse

väikesi erinevusi individuaalsete faktorite hindamisel. Subjektiivsuse vähendamise seisukohalt on see mittedesoovitav tulemus.

Iseloomustades tegurit “ohu edasikandumine”, tuleb arvesse võtta mitmeid aspekte: kiirust, millega nähtus tekib, ulatust, mille juures ta märgatavaks saab, märkamist, otsustusvõimet, ohu märkajate reaktsiooniga, evakueerimise võimalusi jne. Kõiki neid on raske objektiivselt hinnata ja jällegi jääb märgatavalt ruumi subjektiivsele interpretatsioonile. Tootmise ohutuse spetsiifilises kontekstis on selle faktori arvesse võtmine kaheldav. Seadmete ehitamisel tehtud vead/kõrvalekalded leiavad aset tavaliselt seadme sees ning pole ettevõtte personalile jälgitavad, nähtavad. Sellised nähtused nagu plahvatused, tulekahjud ja juhtimise kontrolli kadu annavad endast märku nii äkki ja suurelt, et ärajooksmine enne kahju tekkimist pole võimalik.

Faktori “Ohupiirkonnas viibimine” osas tuleb märkida, et keemiatööstus üldiselt ei ole väga töömahukas tööstus. Seda sektorit iseloomustab automatiseerimise lai levik. Enamikul juhtudel on personali juuresolek seadmetel harv nähtus. Arvestades seadmete mõõtmeid pole ettekujutatav, et kõikides ohtlikes piirkondades on pidevalt inimesed. Personali juuresolek on enamikel juhtudel hajus – teiste sõnadega kokkusattumuslik (juhuslik). Faktori “ohupiirkonnas viibimine” arvesse võtmine tähendaks arvestamist hea õnnega, et intsidenti ei toimu. Eelnevast lähtuvalt peaksime järeldama, et suurõnnetuse ohud on vähem kontrollitud kui näiteks klassikalised masinariskid, kus operaator pidevalt juures viibib. Mõistagi pole see Seveso II direktiivi eesmärk, mis nõuab kõrget kaitstuse astet. Pealegi ei saa olla eesmärgiks valmistada seade, kus töötab keskmiselt kaks inimest ohtlikumana võrreldes seadmega, kus töötab kaksikümmend inimest.

### **2.2.7. Samm 6: riskide hindamine**

Järgnev puudutab ainult vaheriskide hindamist.

Riskide hindamise läbiviimine on vägagi sirgjooneline tegevus juhul, kui on olemas selged kriteeriumid. Riskihinnangu sisend koosneb eespool, sammuga 5 määratud tõsidusest ja tõenäosusest.

Riskihinnangu väljund koosneb meetmete määramisest vaheriski edasiseks vähendamiseks. Riskihinnangu kriteeriumid määratlevad suhte sisendi ja väljundi vahel. Kriteeriumide rakendamine ei tohiks olla raske. Kuid nende esialgne kavandamine seda on. Riskihinnangu kriteeriumide kavandamisel ilmneb kaks kriitilist aspekti:

1. süsteemi piiride määramine, mida me hinnata tahame, ning sellega seotult, meetmete tüübi kindlaks määramine, millele kehtestatakse nõudmised;
2. konkreetsete nõudmiste kehtestamine meetmete osas vastavalt riski suurusele.

On selge, et meetmed, mida soovime määratleda riskianalüüsi alusel, ei saa olla süsteemi osaks, mille riski (tõsidust ja tõenäosust) hindame. Meetmete tüüp, millele kriteeriumid on kavandatud, määrab seega süsteemi piirid, mille riske hinnatakse.

Lähtuvalt meetmete jaoks määratletud nõudmistest on vastu võetud hulk minimaalseid kriteeriume. Neid võib selgitada riskimaatriksi abil joonisel 2.12, mis saadakse tagajärgede ja tõsiduse klasside kombineerimisel.

P <sub>4</sub>					P <sub>4</sub> väga tõenäoline/ kord aastas
P <sub>3</sub>					P <sub>3</sub> tõenäoline/kord 10 aasta jooksul
P <sub>2</sub>					P <sub>2</sub> harv/kord 100 aasta jooksul
P <sub>1</sub>					P <sub>1</sub> väga harv
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>4</sub> ettevõtte välised tagajärjed
					S <sub>3</sub> surmajuhtumid
					S <sub>2</sub> püsivad vigastused
					S <sub>1</sub> ravitavad vigastused

**Joonis 2. 12** Riskimaatriks

Maatriksit tuleb rakendada vaheriskidele, see tähendab mitte arvesse võttes ohutussüsteeme, nagu need on määratletud osas 1.

Riskidele, mida on hinnatud ülalkirjeldatud viisil ning mis asuvad riskimaatriksil joonisel 2.12, kehtivad järgmised põhimõtted:

1. Eesmärk peab alati olema seatud tõsiduse ja tõenäosuse maksimaalse vähendamise suunas, rakendades sisemise ohutuse põhimõtteid läbi passiivsete meetmete ja usaldusväärse kontrolli.
2. Riskide vähendamine viirutatud alades (P<sub>4</sub>,S<sub>3</sub>) ja (P<sub>4</sub>,S<sub>4</sub>) ohutusmeetmete rakendamise teel pole vastuvõetav. Neid riske tuleb esmalt vähendada, kohandades seadet või juhtimissüsteemi nii, et risk langeb varjutatud alast välja. Mõistagi peab riske seejärel edasi vähendama vastavalt uuele asukohale vastastikuse mõju maatriksil.
3. Hallidel aladel asuvate riskide puhul pole kontroll-meetmed küllaldased ja tuleb kasutusele võtta ohutusmeetmeid. Erandiks sellest reeglist on riskid, mida on vähendatud väga väikese tõenäosuseni (P<sub>1</sub>) "passiivsete" meetmete abil (nt kaitse ülerõhu vastu saame, valides seadme arvutusliku rõhu suurema kui maksimaalne tekkida võiv rõhk).
4. Ohutusmeetmete usaldusväärsus peab olema ekvivalentses vastavuses riski suurusega.
5. Suurõnnetuse ohtude puhul (mis on igal juhul sellised, mille tagajärgede faktorid on S<sub>3</sub> ja S<sub>4</sub>) peavad ohutusmeetmed olema:
  - kas iseaktiveeruvad ja suure töökindlusega (nt õigete mõõtetega ohutusventiil, mis avaneb ohutusse kohta);
  - või siis rikkekindlad;
  - või siis veakindlad.

Rikkekindlus on süsteemi omadus, mis lubab tal täita oma määratud funktsioone süsteemi riistvara või tarkvara ühe või enama vea puhul (vt viidet /1/). Rikkekindluse võib saavutada süsteemi reservi sissehitamisega. Sellised süsteemid koosnevad kahest või enamast seadmest, mis täidavad sama funktsiooni nii, et kui ühes seadmes juhtub tõrge, jätkavad üks või enam süsteeme selle funktsiooni täitmist.

Veakindla seadme puhul ohutusseadme rikke korral tuuakse protsess automaatselt ohutute tingimuste juurde (näiteks, seadme sulgemise/peatamise teel). Mõningatel juhtudel on vastuvõetav, et viga avastatakse koheselt ning rakendatakse ajutiselt, kuni vea kõrvaldamiseni, teisi meetmeid, nagu näiteks töötava personali kõrgem valvsuseaste. On selge, et selline meede jääb alla võrdluses reservsüsteemi või veakindla süsteemiga. See on vastuvõetav vaid juhul, kui töötajatel on tegelikult võimalus õigel ajal sekkuda ning kui selliseid ajutisi meetmeid rakendatakse vaid lühikese aja jooksul.

6. Suurõnnetusohu puhul tuleb alati eelistada automaatseid meetmeid neile, mis nõuavad inimese sekkumist. Viimased on aktsepteeritavad vaid juhtudel, kui:
- automaatne lahendus pole tehniliselt mõeldav või ta pole soovitav väga eriliste asjaolude tõttu;
  - sekkuvale isikule on ühemõtteliselt selge, millal ja kuidas ta peab sekkuma; asjakohased alarmid on selgelt eristatavad teistest alarmidest ning nad on prioriteetsused;
  - sekkumiseks on olemas küllaldane aeg.

Ülalkirjeldatud kriteeriumid on vaid minimaalsed tingimused, mida tuleb praktikasse rakendamiseks edasi täiustada. Selliste kriteeriumide kehtestamine on iga üksiku ettevõtte kohustus. Kehtestamine tuleb hoolega läbi mõelda ja läbi arutada ning ettevõtte juhtkond peab selle heaks kiitma.

### 2.2.8. Samm 7: meetmete rakendamine

Seadusandlus näeb ette meetmete teatud hierarhia. Meetmeid tuleb kaalutleda süstemaatiliselt vastavalt hierarhiale, eristades erinevaid meetmete klasse. Klassid funktsioneerivad mingi kontrollnimekirjana või nõuandva meespeana meetmete ja nende rakendamise järjekorra valikul. Selles trükises esitatud ohutusdokumentatsioon võimaldab eristada meetmeid ohu/kahjuallikate (kemikaalide ja reaktsioonide) ja stsenaariumide jaoks.

Kahju/ohuallikast lähtuvalt määratletud meetmed muudavad seadme sisemiselt ohutumaks või kui kasutada seadusandlikku terminoloogiat, väldivad riske. Hulk näiteid on toodud kemikaali andmelehe osas “Meetmed” (vt joonis 2.13) ja reaktsiooni andmelehel (vt joonis 2.14).

Stsenaariumidest lähtuvalt määratletud meetmed teevad lekkes vähem tõenäoliseks (kahju vältimine) või piiravad kahju suurust. Stsenaariumi andmelehe osas “Meetmed” (joonis 2.15) on meetmete algne klassifikatsioon: “meetmed, mis hoiavad lekke ära” ja “meetmed, mis vähendavad lekke tagajärge”. Lisaks sellele tehakse vahet “passiivsete meetmete”, “materiaalsete/tehniliste aktiivsete meetmete” ja “protsessuaalsete aktiivsete meetmete” vahel. Passiivseid meetmeid eelistatakse aktiivsetele meetmetele ja materiaalsed/tehnilised aktiivsed meetmed on eelistatud võrreldes protsessuaalsete meetmetega (mis on definitsiooni järgi aktiivsed).

Eespool on juba juhitud tähelepanu viitele /7/, milles on kirjeldatud tüüpilisi rikkestsenaariume ning vastavaid potentsiaalseid konstruktsioonilisi lahendusi erinevat liiki tootva tööstuse seadmetele. Konstruktsioonilised lahendused jagatakse järgmistesse klassidesse. “olemuslikult ohutum/passiivne”, “aktiivne” ja “protsessuaalne”.

<b>Kemikaali andmeleht</b>		
<b>Nimetus</b>	<i>Vastava kemikaali nimetus</i>	
<b>Meetmed sisemise ohutuse puhuks</b>	<i>Meetmete kirjeldus lähtuvalt kemikaalist</i> <i>Näited:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kemikaali kasutatakse kui ohtlikuma alternatiivi asendajat</li> <li>• kemikaali kogused antud süsteemis on limiteeritud seadme projektiga, organisatsiooniliste meetmetega jne.</li> <li>• protsessi tingimused süsteemis on kohandatud ohutustingimustega</li> </ul>	
<b>Iseloomulikud omadused</b>	<b>Seadmega seotud omadused</b>	<b>Meetmed</b>

Joonis 2.13 “Meetmed” – osa Kemikaali andmelehel

<b>Reaktsiooni andmeleht</b>		
<b>Nimetus</b>	<i>Vastava reaktsiooni nimetus</i>	
<b>Meetmed sisemise ohutuse puhuks</b>	<i>Meetmete kirjeldus lähtuvalt reaktsioonist</i> <i>Näited (soovitud reaktsioonile):</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>teatud reaktsiooniteed kasutatakse ohtlikuma alternatiivi asendamiseks;</i></li> <li>• <i>selliste reaktsioonitingimuste valik, mille puhul kõrvalekalle muutuks vähem tõenäoliseks või rõhu ja temperatuuri maksimaalse tõusu piiramine;</i></li> <li>• <i>teatud kindlat tüüpi lahusti ja madalama temperatuuri kasutamine kui see, millest alates võib ilmneda kõrvalekalle (pealepandud – “onset” – temperatuur).</i></li> </ul>	
<b>Iseloomulikud omadused</b>	<b>Seadmega seotud omadused</b>	<b>Meetmed</b>

**Joonis 2.14** “Meetmed” – osa Reaktsiooni andmelehel

<b>Stsenaariumi andmeleht</b>	
<b>Süsteem</b>	: Süsteemi nimetus, mille õnnetuse stsenaariumi uuritakse
<b>Stsenaarium</b>	: Lühike kirjeldus (leke korrosiooni tõttu, ülerõhk reaktsiooni kulgemise tõttu jne)
<b>Ennetavad meetmed</b>	
<b>Juhtumi nr.</b>	<b>Passiivsed meetmed</b>
<i>Juhtumi baasnumber "juhtumite ja tagajärgede" tabelist</i>	<i>Vasakul asetseva referentsnumbrile vastava meetme kirjeldus</i>
<b>Juhtumi nr</b>	<b>Aktiivsed meetmed</b>
<i>Nagu ülalpool</i>	<i>Nagu ülalpool</i>
<b>Juhtumi nr</b>	<b>Protsessuaalsed meetmed</b>
<i>Nagu ülalpool</i>	<i>Nagu ülalpool</i>
<b>Leevendavad meetmed</b>	
<b>Tagajärje nr</b>	<b>Passiivsed meetmed</b>
<i>Tagajärje baas number</i>	<i>Vasakul asetseva referentsnumbrile vastava tagajärje kirjeldus</i>
<b>Tagajärje nr</b>	<b>Aktiivsed meetmed</b>
<i>Nagu ülalpool</i>	<i>Nagu ülalpool</i>
<b>Tagajärje nr</b>	<b>Protsessuaalsed meetmed</b>
<i>Nagu ülalpool</i>	<i>Nagu ülalpool</i>
<b>Põhjused ja tagajärjed</b>	<b>Meetmed</b>

**Joonis 2.15** "Meetmed" – osa Stsenaariumi andmelehelt



## **VIITED KIRJANDUSELE**

- /1/ Center for Chemical Process Safety, Guidelines for Safe Automation of Chemical Processes. American Institute of Chemical Engineers; New York, 1993.
- /2/ European Process Safety Centre, Safety Integrity. The implications of IEC 61508 and other standards for the process industries; Institution of Chemical Engineers; Rugby (UK); 1999.
- /3/ KLETZ T. A., Cheaper, Safer Plants or Wealth and Safety at work; The Institution of Chemical Engineers; Rugby, Warwickshire, England, 1984.
- /4/ Center for Chemical Process Safety. Inherently Safer Chemical Processes. A life cycle approach, ed. By Daniel A. Crowl, American Institution of Chemical Engineers, New York, 1996
- /5/ Manual for identifying and evaluating thermal runaway reaction hazards, Chemical risks directorate, Federal Ministry of Employment and Labour, 2001
- /6/ BRETHERICK L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, 5th Edition, ed. by P.G. Urban, Butterworth-Heineman, London, 1995
- /7/ Center for Chemical Process Safety, Guidelines for Design Solutions for Process Equipment Failures, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1998
- /8/ T. KLETZ, Hazop and Hazan, Identifying and assessing process industry hazards, Institution of Chemical Engineers, Rugby (UK), 1999, p. 34