

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**MEDITSIINIASUTUSTE KATKEMATUTE
TOITEALLIKATE SÜSTEEMIDE PLANEERIMINE JA
VALIMINE**

**PLANNING AND SELECTION OF UPS SYSTEMS FOR
MEDICAL INSTITUTIONS**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Sergei Kedrov

Üliõpilaskood: 202434TAF

Juhendaja: Jelena Šuvalova, vanemlektor

Tallinn 2021

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 2021

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2021

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud:

"....."2021

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Sergei Kedrov

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose:

Meditsiinasutuste katkematu toiteallikate süsteemide planeerimine ja valimine, mille juhendaja on vanemlektor Jelena Šuvalova

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

_____ (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Sergei Kedrov

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Meditsiinasutuste katkematu toiteallikate süsteemide planeerimine ja valimine

Kuupäev: 18.05.2021

49 lk

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): vanemlektor Jelena Šuvalova

Töö konsultant (konsultandid):

Sisu kirjeldus:

Haiglate ja kliinikute keerukate meditsiiniseadmete kaitsmiseks tuleb kasutada katkematud toiteallikaid. Vajadus tuleneb nii elektripaigaldisi käsitlevast standardist EVS-HD 60364-7-710, kui ka aparatuuritootjate poolsetest nõuetest.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks ongi vaadelda meditsiinasutustele sobivate katkematud toiteallikate valikuga seotud peamisi aspekte: UPS-ide ja akude valik, UPS-ide konfiguratsiooni ja UPS-ide selektivsuse arvutused, jne. Töö koostamise aluseks on autori enam kui 15-aastane kogemus meditsiinirajatiste elektrivarustuse kavandamisel ja tagamisel.

Märksõnad: katkematu toiteallikas, UPS, möödaviik, akud, superkondensaatorid, lühisvoolud

ABSTRACT

<i>Author:</i> Sergei Kedrov	<i>Type of the work:</i> Bachelor Thesis
<i>Title:</i> Planning and selection of UPS systems for medical institutions	
<i>Date:</i> 18.05.2021	<i>49 pages</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Senior lecturer Jelena Šuvalova	
<i>Consultant(s):</i>	
<i>Abstract:</i> Uninterruptible power supplies must be used to protect the complex equipment of hospitals and clinics. The need arises both from the standard EVS-HD 60364-7-710 for these installations and from the requirements of the equipment manufacturers. The aim of this dissertation is to look at the main aspects related to the selection of uninterruptible power supplies suitable for medical institutions: selection of UPSs and batteries, calculations of UPS configuration and UPS selectivity, etc. The work is based on the author's more than 15 years of experience in planning and ensuring the electricity supply of medical facilities.	
<i>Keywords:</i> uninterruptible power supply, UPS, bypass, batteries, supercapacitors, short circuit current	

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema: Meditsiini-asutuste katkematu toiteallikate süsteemide planeerimine ja valimine

Lõputöö teema inglise keeles: Planning and selection of UPS systems for medical institutions

Üliõpilane: Sergei Kedrov, 202434TAF
Eriala: Elektroenergeetika
Lõputöö liik: Bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja: Jelena Šuvalova
Lõputöö kaasjuhendaja:
(ettevõtte, amet ja kontakt)

Lõputöö ülesande kehtivusaeg: 30.06.2021
Lõputöö esitamise tähtaeg: 18.05.2021

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Haiglate ja kliinikute keerukate meditsiiniseadmete kaitsmiseks tuleb kasutada katkematuid toiteallikaid. Vajadus tuleneb nii mainitud paigaldisi käsitlevast standardist EVS-HD 60364-7-710, kui ka aparatuuritootjate poolsetest nõuetest.

Suurem enamus Eesti meditsiinasutusi on riiklikult rahastatud sihtasutused kus seadmete ostmine ning hankimine käib läbi riigihanke protseduuri. Mainitud hankevormi probleemiks on hästi teada asjaolu, et odavam hind võidab ning tehnilised detailid pole eriti olulised. Riigihanke protseduureegleid me muuta ei saa, küll aga saame koostada väga detailse ja hea lähteülesande mis arvestab meditsiinasutuse spetsiifilisi vajadusi. Käesoleva lõputöö peamiseks eesmärgiks on vaadelda elektrivarustuse töökindlust. Töö koostamise aluseks on enam kui 15-aastane kogemus meditsiinirajatiste elektrivarustuse kavandamisel ja tagamisel.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on vaadelda meditsiinasutuste elektrivarustuse osa toitekindluse aspektist. Kuidas tagada, et hangitav UPS seade ka reaalselt tagaks meditsiinasutuses katkematu elektrivarustuse.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. Mille poolest erinevad raviasutuste elektripaigaldised tavaliste ärihoonete elektripaigaldistest ning mis on nende peamised erinevused?
2. Milliseid arvutusi tuleb elektrisüsteemile eelnevalt teha kui on plaanis tõsta elektrisüsteemi töökindlust UPS-ide abil?
3. Milline on kaasaegse staatilise UPS-i ülesehitus ja millistele parameetritele tuleb tähelepanu pöörata?
4. Kas paigaldise töökindlus on koheselt garanteeritud kui sinna paigaldada UPS seade?
5. Kas UPS seadme paigaldamisel on mingeid erinõudeid hoonele kuhu neid paigaldatakse?

4. Lähteandmed

Lähteandmeteks on kasutatud erinevate seadmetootjate tooteinfot ja materjale ning Põhja Eesti Regionaalhaigla elektripaigaldise kavandamise, projekteerimise, ehitamise ja eksploatatsiooni viimase 15 aasta andmeid.

5. Uurimismeetodid

Probleemi olemuse kirjeldamine ning sobiliku andmetöötlusmetoodika valik. Andmetöötluste meetoodika rakendamine olemasolevate lahenduste analüüs PERH-i (Mustamäe) näitel.

Töös on analüüsitud UPS-ide konfiguratsioone. On uuritud katkematute toiteallikate võrkude kujundamise standardeid. Võrreldud ja vaadeldud millises režiimis on UPS seade: Online režiimis, Bypass režiimis, akutoitel. On hinnatud kuidas UPS-i käitumine sobib kaitselülitite rakendumistunnusjoontega arvestades asjaolu, et UPS seade on lühisolukorras ise vooluallikas mis piirab voolu.

6. Graafiline osa

Lõputöös on kasutatud pilte, tabeleid ja erinevaid graafikuid. Olenevalt tähtsusest liigitatakse pildid, tabelid ja graafikud töö põhiossa ja lisadesse. Regionaalhaigla elektrivarustus – üldplaan

Lühisvoolude arvutus erinevatel hetkedel – graafiline tulemus

Pingelangude arvutus – graafiline tulemus

Rakendumistunnusjooned – graafikul

UPS seadme ülesehitus – struktuurskeemina

7. Töö struktuur

Esitatud bakalaaurusetöö koosneb sissejuhatausest, viiestst peatükist, 10-st teise taseme alapeatükist, 11-st kolmanda taseme alapeatükist, eesti ja inglisekeelsest kokkuvõttest, kasutatud kirjanduse loetelust ja lisadest.

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Elektripaigaldise käsitlevad standardid: EVS-HD 60364-7-710 [1], EVS-HD 60364-4-41 [16], EVS-HD 60364-4-42 [17], EVS-HD 60364-4-43 [18], EVS-HD 60364-5-3 [19].

Tootejuhendid – Eaton 9395 paigaldusjuhend.

Kasutusjuhendid – Eaton 9395 kasutusjuhend.

Xspider arvutusprogrammi kasutusjuhend.

Dr. Janne Paananeni loengumaterjalid.

Eaton Consultation and Application guide.

UPS seadmete ehitust käsitlevat standardit IEC 62040-(osad 1-4).

9. Lõputöö konsultandid

Lõputöö koostamisel konsultantide abi ei kasutatud.

10. Töö etapid ja ajakava

Loetelu töö etappidest koos tähtaegadega:

teoreetilise osa kirjutamine	19.03.2021
uuringutulemuste kirjeldamine	16.04.2021
järelduste kirjutamine	23.04.2021
kokkuvõtte koostamine	30.04.2021
töö esimene versiooni saatmine juhendajale	07.05.2021
paranduste sisseviimine ja juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine	14.05.2021
töö lõplik versioon valmis	18.05.2021

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA	12
Lühendite ja tähiste loetelu.....	13
SISSEJUHATUS	14
1. Toitepinge kvaliteediprobleemid.....	15
2. Katkematu toiteallika üldkonseptsioon.....	17
2.1 Pooljuhtidel põhinevate staatiliste UPS seadmete tüübid	18
2.1.1 Varutoite UPS (<i>Off-Line või Stand-by</i>).....	18
2.1.2 Liin-interaktiivne UPS (<i>Line-Interactive</i>).....	18
2.1.3 Topelmuundamisega UPS (<i>On-Line ehk VFI</i>).....	19
2.2 Staatiliste UPS seadmete energiasalvestus.....	19
2.2.1 Akud.....	19
2.2.2 Superkondensaatorid	22
2.2.3 Hoorattaga salvesti.....	24
3. Keske UPS seadme ühendusvõimalused hoone elektrisüsteemiga	26
3.1 Mõödaviik	27
3.1.1 Staatiline mõödaviik	27
3.1.2 Mehaaniline mõödaviik.....	27
3.2 Üldise mõödaviigu skeem.....	28
3.3 Hajutatud mõödaviik	30
4. Mustamäe haigla C korpuse elektrivarustuse struktuurskeem	32
4.1 Peakilpide kaitselülitid	33
4.2 Millist tüüpi UPS sobib peakilpide jaoks?	33
4.3 Üle 100 kVA UPS-i valik	33
4.4 Moodulaarsed UPS-id.....	35
4.5 Paralleelsete UPS-ide sünkroniseerimine	36
4.5.1 UPS-i jahutussüsteemid	37
4.5.2 UPS-i aku konfiguratsioon	38
4.5.3 UPS-i akude testimine.....	39
5. Kaasaegsete UPS-ide energiasäästlikud süsteemid Energiasäästusüsteemi (ESS) EATONI UPS seadme näitel	40
5.1 Lühisvoolude arvutused UPS-i süsteemide erinevate töörežiimide jaoks	40
5.2 Akude ja UPS-ide asukoht erinevates ruumides	43
KOKKUVÕTE	44

SUMMARY	45
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	46
LISAD	49

EESSÕNA

Tänu tehnoloogia arengule suudab kaasaegne meditsiin uurimise etapis ennetada ja peatada erinevate haiguste arengut. Meditsiinitöötajad kasutavad oma töös palju tundlikke ja kalleid elektroonikaseadmeid: ultrahelimasinaid, röntgenograafiaid, arvuti- ja magnetresonantstomograafe jne.

Elektrivarustuse häired või toitepinge kadumine võib operatsiooni või uuringu peatada, mis omakorda võib ohustada patsiendi elu ja tervist. Meditsiini-seadmeid on elektri kvaliteedi suhtes äärmiselt nõudlikud, et ei tekiks meditsiini-seadmete kasutamise ajal elektrilööki ega elektrikatkestust. Kõik meditsiini-keskused, haiglad ja kliinikud peavad olema varustatud kvaliteetse katkematu elektrivooluga. Tänapäeval on selle tagamiseks kõige mõistlikum kasutada katkematud toiteallikad ehk UPS seadmeid.

Garanteeritud elektrivarustuse süsteemi loomise otsus, mis integreerib kõik meditsiini-tehnika ja ka muud pinge tõusule kriitilised seadmed, tuleks teha juba meditsiini-asutuse projekteerimise etapis.

Käesolevas töös selgitatakse Mustamäe haigla näite varal, kuidas luua kliinikumile katkematu toiteallikaga süsteemi, mis vastab igati haigla nõuetele meditsiini-aparatuuri kaitsmiseks võimalike elektrivarustusega seotud häirete korral.

Lühendite ja tähiste loetelu

Lühend	Selgitus
CC	pidev vool (<i>constant current</i>)
CV	pidev pinge (<i>constant voltage</i>)
Li-ion	liitium-ioon (<i>lithium-ion</i>)
kWh	kilovatt-tund (<i>kilowatt hour</i>)
kvarh	reaktiivenergia tarbimine kilovar/tunnis (kilovar/hour)
OCV	avatud vooluringi pinge (<i>open-circuit voltage</i>)
f	sagedus (<i>frequency</i>)
MRA	magnetresonantstomograaf (<i>magnetic resonance angiography</i>)
RLA	reservilülituse automaatika
THD	kogu harmooniline moonutus (%) (<i>total harmonic distortion</i>)
TDD	kogu nõudluse moonutus (<i>total demand distortion</i>)
PJK	peajaotuskilp (<i>main distribution board</i>)
UPS	katkematu energiaallikas (<i>uninterruptible power supply</i>)
PWM	pulsilaiusmodulatsioon (<i>pulse width modulation</i>)
EMC	elektromagnetiline ühilduvus (<i>electro magnetic compablity</i>)
VRLA	hooldusvaba pliiaku
AC	vahelduvvool (<i>alternative current</i>)
DC	alalisvool (<i>direct current</i>)

SISSEJUHATUS

Suurem enamus Eesti meditsiinasutusi on riiklikult rahastatud sihtasutused ja nendele vajalike seadmete ostmise ning hankimine käib läbi riigihanke protseduuri. Riigihangete suurimaks või kaalukaimaks valikukriteeriumis on odavaim hind. Seetõttu on hangitavate seadmete parameetrite kirjeldus ja täpne lähteülesande püstitus väga oluline, sest riigihangete lähteülesande ebatäpsused võivad viia selleni, et odavamad seadmed ei vasta tegelikult tellija vajadustele.

Standard EVS-HD 60364-7-710 kehtestab nõuded meditsiinasutuste elektripaigaldiste ohutuks ja töökindlaks energiaga varustamiseks, kuna kehv toiteallikas võib kahjustada kallist meditsiinivarustust [1]. Tomograafi või ekspertklassi ultraheliaparaadi taastamine on kallid ja seetõttu on parem selliseid seadmeid kaitsta usaldusväärse katkematu toiteallikaga (UPS). Ka mõned laborirajatised vajavad kaitset, eriti kui asutus viib läbi keerukat uurimistööd või teadustegevust. Elektrikatkestusest tingitud häire tehnoloogilises tsükli võib tõsise töö täielikult rikkuda. Mõni bioloogiline materjal või proov nõuab säilitustemperatuuri ranget järgimist ja seetõttu tuleb ka külmutusmasinaid kaitsta.

Operatsiooniplokkide suhtes kehtivad veel lisaks erireeglid, kus iga elektriseade peab rikke korral olema dubleeritud ning ruum ise peab olema varustatud kvaliteetse garanteeritud toiteallikaga ja kogu selle paigaldise ette peab olema paigaldatud meditsiiniline trafo. Operatsioonisaali elektrivõrk tuleb ülejäänud haiglast täielikult lahti ühendada ja just siin teevad kliinikute haldusjuhid sageli tõsise vea. Trafo paigaldamise asemel soovivad nad osta topelmuundamise topoloogial põhinevaid katkematud toiteallikaid, pidades neid universaalseks lahenduseks mis tagavad kaitseradduse ning tagavad toite katkematus. Kirjeldatud UPS-ide puhul ei sõltu küll väljundpinge parameetrid sisendparameetritest ning kui nad töötavad võrgutoitel, võib sisendit ja väljundit tavapäraselt pidada isoleerituteks. Samas teatud olukordades see nii pole. Lisaks jätab see topelmuundamise termin palju lahtiseks ning turul on ka tooteid kus topelmuundamise sildi all pakutavad seadmed ei katkesta neutraaljuhti vaid moduleerivad vaid faasipinget. Toodud näited ei vasta meditsiinasutuste standardite nõuetele.










1. TOITEPINGE KVALITEEDIPROBLEEMID

Kõige tavalisemad rikked või häired, millel on negatiivne mõju elektri kvaliteedile, on:

- Lühiajalised või pikaajalised elektrikatkestused, mis on põhjustatud elektrivõrgu riketest.
- Suure võimsusega tarvitite kommutatsioonist tingitud transiendid.
- Hetkelised pinge kõikumised, mis on põhjustatud võrgu suurte koormuste või rikete ühendamisest.
- Mittelineaarsete koormuste (enda või teiste kasutajate süsteemides, jne) põhjustatud voolude ja pingete kuju moonutamine.
- Tasakaalustamata toitepinged.

Häireid on veelgi enam ning peab tõdema, et aja jooksul on elektrivõrk küll muutunud stabiilsemaks ning tugevamaks, kuid kasvanud on igasugust häirete osa. Me ei koge enam niivõrd katkestusi kuiivõrd igasuguseid moonutusi. Arvan, et selle põhjuseks on tarvitite muutumine ajas. Täna sisuliselt ei ole enam elektripaigaldises aktiivkoormuselisi tarviteid. Sellise muutuse põhjuseks on ilmselt hõõgniidil põhinevate valgusallikate kadumine ning arvutustehnika laialdane levik. Ka on tuntavalt vähenenud elekterkütte osakaal. Täna on kõik büroohooned ja ka haiglad täis valgusdiodidel põhinevaid valgusallikaid. Iga tarviti on sisuliselt sildalaldi. Pahatihti on tarvitid kompenseerimata ning nad toidavad tagasi elektrivõrku 3. ja 5. harmoonilist. Mainitud harmoonilised, eriti 3. on aga sellised mis ei taandu ega kao. Pigem nad summeeruvad neutraaljuhti ning põhjustavad häireid. Lisaks põhjustavad kõrgsageduslikul PWM võimalikud häired on aga probleemiks tundlikele haiglate ja laborite elektritarvititele. modulatsioonil põhinevad toiteplokid vahetevahel EMC häireid. Kõik eelnevalt loetletud on probleemiks tundlikele elektritarvititel mida on raviruumides kui ka laborites küllaga. Järgnev Tabelis 1 kirjeldab üheksat enamlevinud toitepinge probleemi, esitab illustreerivalt iga häire mõju toitepinge siinusele ning vaatleb võimaliku häire põhjust.

Tabel 1 Võimalikud elektrivõrgu häired ja UPS-i valik tehniliste parameentirte järgi [2]

Elektripinge probleem		Probleeme kirjeldamine	Põhjus	VFD offline	VI	VFI online
1		Toite täielik lahti ühendamine elektrivõrk	Selle võib põhjustada mitmel põhjusel: pikselööök, võrgu katkemine, võrgu ülekoormatus, õnnetused ja loodusõnnetused.	Yellow	Blue	Green
2		Lühiajaline pingelangus	Võib olla tingitud suure koormuse sisse lülitamisest, vooluvõrgu lülitamine, võrgu rikked, välk, vooluvõrgu suutmatus taset pakkuda koormus. Lisaks seadmete katkemisele ka tõrked toide võib seda kahjustada.	Yellow	Blue	Green
3		Lühiajaline pinge tõus üle 110% nominaalsest	Võib põhjustada pikselööök, sellisel juhul pinge võib ulatuda 6kV-ni. Pinge suurenemine peaaegu alati põhjustada andmete kadu ja kahjustusi seadmed	Yellow	Blue	Green
4		Alapinge ajavahemikuks alates mitu minutit kuni mitu päeva	Põhjuseks võib olla tahtlik pingelangus võrgu energia säästmiseks tiptundidel - perioodid või muu koormuse suurenemine üle nominaalsed võrguvõimalused.		Blue	Green
5		Pinge suurenemine ajavahemikul alates mitu minutit kuni mitu päeva	Põhjuseks elektritarbimise kiire vähenemine, võimsate seadmete või seeriade ühendamine lülitatav toiteallikas. Võib kahjustada seadmed.		Blue	Green
6		Kõrgsagedushäired, mis on põhjustatud elektromagnetilised häired	Põhjuseks võib olla kokkupuude kõrgsagedusega - tekitatud häired või elektromagnetkiirgus saatjad, keevitusseadmed, välk jne.			Green
7		rikkumine sageduse stabiilsuse	Põhjustatud generaatorite laadimise ja maha laadimisega väikesed koostootmisjaamad. Sageduse hälve võib põhjustada seadmete vigu, andmete kadu, süsteemi tõrked ja seadmete kahjustused.			Green
8		Lühiajaline pingelangus	Tüüpiline kestus on lühem kui impulsse pursked ja seda mõõdetakse enamasti nanosekundites.			Green
9		Lainekuju moonutamine, põhjustatud peamiselt mittelineaarsetest koormustest	Toiteallikate, ajamite ja mootorite ümberlülitamine sageduse juhtimine, koopiamasinad ja faksid - näited mittelineaarne koormus. Võib põhjustada suhtlusvigu, ülekuumenemine ja seadmete kahjustumine.			Green

2. KATKEMATU TOITEALLIKA ÜLDKONSEPTSIOON

Katkematu toiteallika ehk UPS seadme eesmärgiks on tagada tema taga oleva elektritarviti elektrienergiaga varustamine olukorras kus toitevõrk on häiritud või sootuks puudub. Väga üldiselt kirjeldades koosneb UPS seade toitepingemuundurist ja energiasalvestusseadmest. Nii muundur kui ka energiasalvesti võivad olla väga erineva konstruktsiooniga. Lahendusi on palju. Muundur võib olla elektrimasin või siis pooljuhtidel põhinev seade. Energiasalvesti võib olla mehaaniline, elektrokeemiline või mingil muul tehnoloogial põhinev. Tänapäeval enamlevinumaid UPS seadmete tüüpe kirjeldatakse detailsemalt järgnevatel peatükkides.

Erineva konstruktsiooniga UPS seadmeid on püütud konstrueerida alates elektrimasinate leiutamise algusest. Kõige vanemad UPS seadmed olid suure hoorattaga mootor-generaatorid. Sellise ehitusega seadmeid toodetakse ja pakutakse tänapäevani, kuid neil on ka omad puudused. Ehituselt on nad üsna robustsed ja töökindlad kuid samas ka üsna lärmakad ja suurte kadudega. Lisaks vajavad sellised seadmed tihedat hooldust. Tänapäevased jõupooljuhtidel põhinevad staatilised UPS seadmed hakkasid arenema koos jõutransistorite arenguga möödunud sajandi viiekümendate aastate keskpaiku. Üheks pioneeriks selles vallas oli Soomes tegutsenud firma Fiskars Power. Täna turul pakutavaid staatilisi UPS seadmeid võib jaotada lähtuvalt nende ehitusest ja funktsionaalsusest kolme suuremasse kategooriasse (vt punkt 2.2). Lisaks võib seadmeid jaotada vastavalt toitepingele või ühendatud faaside arvule või ka võimsusele. Käesolevas töös vaadeldakse kõige enam kolmefaasilisi suure võimsusega (≥ 100 kW) seadmeid, mis sobivad tsentraalseks kasutuseks haiglates. Peamisteks UPS seadet iseloomustavateks elektrilisteks parameetriteks on:

Nimivõimsus – võimsus mida seade suudab kestvalt taluda. Mõõdetakse voltamprites (VA), kilovoltamprites (kVA) või kilovattides (kW).

Nimipinge – pinge millega seade suudab töötada ning mida tekitada. UPS seadme puhul tuleb eraldi vaadelda nii sisend- kui väljundpinget. Need võivad erineda. Mõõdetakse voltides (V).

Tugiaeg – aeg mille jooksul seade suudab toitepinge kadumisel oma väljundis tagada nimivõimsusel toitepinget. Mõõdetakse kas minutites või harvemini tundides.

Effektiivsus – parameeter, mis iseloomustab kui palju energiat kaotab seade nimivõimsusel töötades soojusena või muude kadudena. Mõõdetakse protsentides seademe poolt tarbitava koguenergia suhtes.

THD – parameeter mis näitab kui palju UPS seade kui tarviti elektrivõrgus tekitab häireid elektrivõrku ning seeläbi segab teiste tarvitite tööd. Mõõdetakse protsentides põhiharmonilise parameetri suhtes. THD´d saab arvutada nii pingele kui voolule [3].

Lisaks esiletõstetud peamistele elektrilistele parameetritele on UPS seadmetel terve rida vähem või rohkem olulisi elektrilisi või mehhaanilisi parameetreid mis on olulised kuid mitte nii kriitilised või siis muutuvad määravaks mingi spetsiifilise rakenduse korral.

Käesolevas töös on keskendatud suure võimsusega kolmefaasilistele UPS seadmetele. Selle asjaolu tingib senine kasutuskogemus. Praktika on näidanud, et väikeste ühefaasiliste 500 VA kuni 5 kVA võimsusega lokalsete UPS-ide kasutamine suurtes meditsiinasutustes ei ole majanduslikult otstarbekas. Elektrivarustuskindluse aspektis ei ole nende kasutamine samuti õigustatud. Väikseid UPS seadmeid ei saa kasutada tsentraalse toiteallikana (väike võimsus pingelangud juhistikus), Lokaalne UPS seade peaks paiknema raviruumis. See raskendaks nende jälgimist ja hooldust sest lokalsete UPS-ide hooldust ja remonti ei ole võimalik teha igal ajal. Remont ja hooldus viib tavaliselt UPS-i ümberlülitamisele möödaviigu (*ingl k bypass*) abil. Seejärel toidetakse seadmeid sisuliselt otse jaotusvõrgust. See omakorda võib põhjustada elektrikatkestusi ja halvendada elektrienergia kvaliteeti. Sellises olukorras muutub suure võimsusega kesksete UPS-ide kasutamine $n + 1$ või $1 + 1$ konfiguratsioonis usaldusväärsemaks.

2.1 Pooljuhtidel põhinevate staatiliste UPS seadmete tüübid

2.1.1 Varutoite UPS (*Off-Line* või *Stand-by*)

Varutoite UPS-i lahendus on üks algelisemaid ning odavaimad. Lahenduse tööpõhimõte on üsna lihtne: kui võrgu pinge ületab lubatud piirid (alapinge/ülepinge), lülitub see akutoitele ja pinge normaliseerudes toimub vastupidine protsess. Peamisteks puudusteks on üsna pikad lülitusajad ja võimetus pingelangusi siluda. Lisaks on paljud täna pakutavad Off-Line UPS-id hinnasurve tulemusena nii lihtsaks ja odavaks tehtud, et nad ei suuda akutoitel olles väljundisse tekitada kavaliteetset siiniuspinget. Selle asemel on seal üsna ebakvaliteetne siiniuse-laadne hammaspinge. Varutoite UPS seadmed on üldjuhul alati ühefaasilised. Selline UPS seade tagab tarvitile kaitse kolme esimese Tabelis 1 toodud probleemi vastu.

2.1.2 Liin-interaktiivne UPS (*Line-Interactive*)

Liin-interaktiivne UPS on vahepealne lahendus topeltmuundamisega (*On-line*) ja varutoite (*Off-line*) UPS-i vahel. Liin-interaktiivse UPS-i toimimisskeem sarnaneb

osaliselt varutoite UPS-i töörežiimile, kuid teda on täiustatud. Selline seade suudab ka teatud piirides korrigeerida elektrivõrgust tulevat pinget ilma akudele ümberlülitumata, seetõttu on akutoitele üleminek harvem (pikem aku eluiga). Lisaks on sellise UPS seadme väljundpinge puhas siinuspinge. Ka see seadmetüüp on üldjuhul alati ühefaasiline. Selline lahendus on kõige levinum UPS-i tüüp. Kirjeldatud seadmetüüp tagab tarvitile kaitse viie Tabelis 1 toodud probleemi vastu.

2.1.3 Topelmuundamisega UPS (On-Line ehk VFI)

Topelmuundamisega UPS on tänapäeval laialt levinud UPS seadmetest kõige täiuslikum ja ühtlasi ka keerukaim. Sellise seadme jõuahel koosneb sisendalaldist (AC/DC), alalisvooluvaheahelast (DC/DC) ning väljundinverterist (DC/AC). Siit ka seadmekategooria nimetus. Ahelas toimub kaks muundamist. Pisut sarnane asünkroonmootorit kasutatava hästi tuntud sagedusmuunduri skeemiga, kuid siiki oluliste erinevustega. Kahekordne muundamine tagab, et väljundpinge on täielikult lahti ühendatud sisendpinge sagedusest. See asjaolu võimaldab UPS seadme tarvitile tagada kvaliteetse puhta siinusega toitepinge, sõltumata toitevõrgus toimuvast. Topelmuundamisega UPS seadmeid toodetakse nii ühe- kui kolmefaasilistena. Selline lahendus tagab kaitse kõigi Tabelis 1 toodud üheksa enamlevinud toite kvaliteedi häire vastu.

2.2 Staatiliste UPS seadmete energiasalvestus

Jõuelektroonikal põhinevad muundurid on UPS seadme üheks olulisemaks osaks, kuid kui muundamine on toimunud ja toitevõrgu parameetrid on muutunud sellisteks, et ainult korrigeerimisest või muundamisest ei piisa, siis on vaja toitevõrgule lisaks alternatiivset energiaallikat millest muundur saaks energiat oma tarviti toitmiseks. Siin peatükis vaadeldakse enamlevinuid energiasalvestuse meetodeid.

2.2.1 Akud

Aku tüüpe on palju, nende omadused on ajas ainult arenenud ning paremaks muutunud. Turul on saada akusid erineva aku-keemiaga ning väga erinevateks rakendusteks.

Käesolevas töös vaadeldakse UPS seadmetega laiemalt kasutatavad akusid ning jäetakse kõrvale spetsiifilised akud, nagu näiteks hõbe-tsink, nikkell-vesinik ja hõbe-kaadmium. Loetletud akutüübid võivad olla küll mõne parameetri osas väga eeskujulikud, kuid nad on väga kallid ning leiavad rakendust vaid ekstreemsetes tingimustes nagu militaar rakendused ja või kosmosetööstus. Kohtades kus elarve pole takistuseks.

Akutehnoloogia on ajas arenenud ning ajalukku on jäänud pidevat tähelepanu vajavaid lahtised pliiakud. Tänapäeval on juba pikka aega kasutusel hooldusvabad VRLA-tüüpi akud. Neil pole vaja kontrollida elektrolüüdi taset/tihedust. Ruumid, kus asuvad VRLA tüüpi akud, ei vaja erilist ventilatsiooni, kuna ohtlikke happeaurusid praktiliselt pole.

Kõigi plii-happe akude ja seal hulgas ka VRLA tüüpi akude peamine puudus on tundlikkus ümbritseva õhu temperatuurile. Liig madal temperatuur kaotab aku mahtuvuse, kuid õnneks see taastub koos temperatuuri tõusuga. Liiga kõrge temperatuur kaotab samuti mahtuvuse, kuid sel juhul kaob see jäädavalt — aku rikneb. Elektrokeemilise elemendi töötemperatuur peaks jääma vahemiku + 20...25°C. Tänu oma suurele massile ja ruumalale ei ole akud väga tundlikud hetkelisele temperatuuri tõsule/langusele (suure plii koguse soojusvahetusprotsess on väga aeglane). Suur mass ja gabariidid on ka samas selle akutüübi üheks miinuseks.

Tänu autotööstusele on viimase paarikümne aasta jooksul toimunud tõsine arendustöö liitiumi keemial põhinevatel akudel. See on andnud meile töökindla, suure mahtuvusega ning üsna mõistliku hinnaga (võrreldes ajaga 15 aastat tagasi) Liitium-ioonaku. Olgu öeldud, et liitiumil põhinevaid akude tüüpe on mitmeid eri tüüpe. Iga tootja üritab arendada midagi omanäolist. Igal tüübil on omad eelised ja ka puudused või isegi ohud. Võrreldes liitium-ioonakut klassikaliste pliiakudega on esimesel mitmeid tehnilisi eeliseid:

- Oluliselt väksem kaal ja mõõtmed. Sama füüsilise ruumala korral on liitium-ioonakudel suurem energiatihedus. Nad suudavad ühe kilogrammi kaalu kohta salvestada kolm korda rohkem energiat kui pliiakud. Järelikult saab ruumi oluliselt kokku hoida.
- Lai töötemperatuuride vahemik. Pliiakud kaotavad umbes poole oma võimsusest iga 10-kraadise temperatuuri tõusu korral, mis ületab tema töötemperatuuri (+25 °C). See tähendab, et ruum, kus nad asuvad vajab tõhusat jahutust. Samal ajal on liitium-ioonakud temperatuuri kõikumiste suhtes palju vähem tundlikud, sellised muutused praktiliselt ei mõjuta aku kasutusaega. Neid saab kasutada temperatuuril kuni +50 °C ilma märgatava jõudluse muutuseta.
- Kõrge elektrivoolu tase laadimisel ja tühjendamisel. Liitium-ioonakusid saab kiiresti vastu võtta ja vabastada suures koguses energiat. See muudab nad eriti sobivaks energiamahukate rakenduste jaoks.
- Suur laadimis—tühjendamistsükli arv. Pliiakude keskmine on umbes 700 tsükli, liitium-ioonakude puhul on see arv umbes 5000. Samas pole meditsiini- ja tööstuslike UPS-ide jaoks see näitaja aga väga aktuaalne.

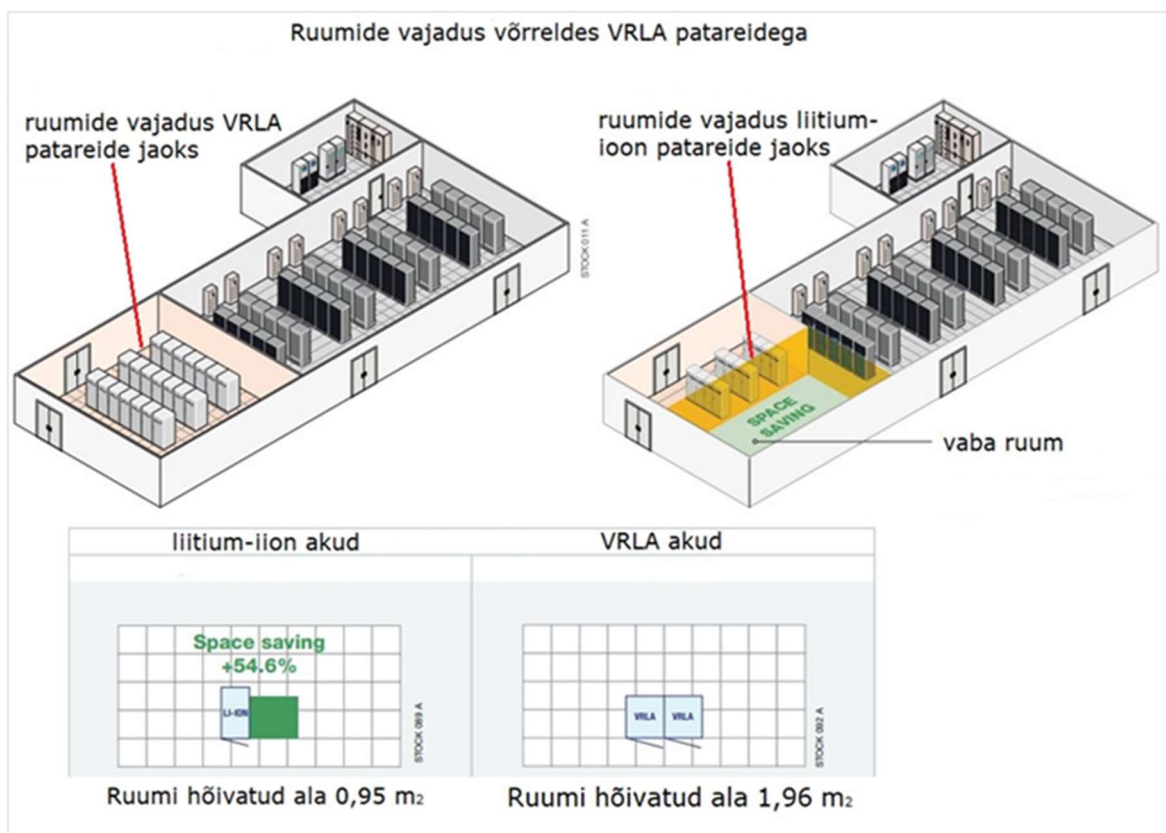
- Pikk oodatav eluiga. Enimlevinud pliiakude kasutusaeg (ületamata lubatud laadimistsükkleid) on 3 aastat, liitium-ioonakude tööaeg on aga üle 10 aasta. Sellised näited, kui liitium-ioonakude eluiga on määratletud kauem kui 10 aastat ja pliiakude kasutusiga 3-5 aastat, ei ole aga absoluutsed.

On olemas pliiakusid, mille kasutusaeg on vastavalt *Eurobat 2015* klassifikatsioonile vähemalt 12 aastat. Viimaste maksumus on loomulikult oluliselt erinev võrreldes akudega, mille kasutusiga on vaid 3-5 aastat.

Eurobat 2015 jagab plii-happe akud vastavalt nende oodatavale elueale järmistesse gruppidesse [4]:

- 3-5 aastat
- 6-9 aastat
- 10-12 aastat
- >12 aastat.

Joonisel 2.1 on esitatud illustreeriv näide UPS seadmete tootjalt *Socomec*: ruumivajadus VRLA või Liitium-ioonakude kasutamisel.



Joonis 2.1 Ruumivajaduse võrdlus VRLA ja liitium-ioonakude kasutamisel [5]

Kahjuks on liitium-ioonakude maksumus võrreldes VRLA akudega endiselt üsna kõrge. Näiteks 2021. aasta märtsi seisuga oli 100 kW UPS-i, mille aku kestvus oli 30 minutit, maksumus järgmine:

Tabel 1.1 VRLA ja liitium-ioonakude parameetrite võrdlus

VRLA akud	Liitium-ioonakud
UPS 250 kW, tööaegiaeg 30 min, eluiga >12 aastat.	UPS 250 kW, tööaeg 30 min, eluiga 15 aastat.
Ühe komplekti hind 80 000 EUR	Ühe komplekti hind 151 000 EUR

Tabelis 1.1 on näha, et komplektide maksumus erineb umbes kaks korda. Samas on aga VRLA patareide eluiga vastavalt *Eurobatile* maksimaalselt vaid 12 aastat.

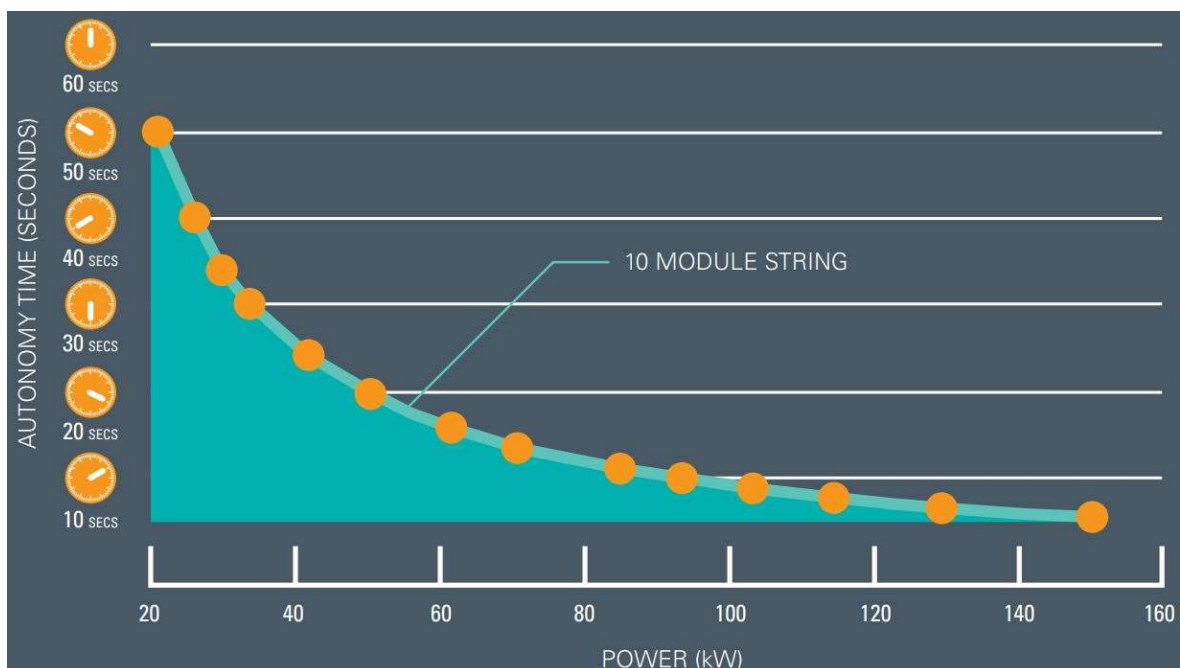
Liitium-ioonakude kasutamisel on vaja vähem ruumi ja jahutamine pole nende jaoks nii kriitiline. Konkreetsetes näites ei erine VRLA ja liitium-ioonakude eluiga nii märkimisväärselt, VRLA-l vähemalt 12 aastat ja vastavalt liitium-ioonakul umbes 15 aastat. Seetõttu jääb liitium-iooniakude kasutamisest saadav majanduslik kasu UPS-ide piisavalt pika nimikoormusel töötamise aja korral kaheldavaks. Toodud väide on esitatud lähtuvalt meditsiinipaigaldiste eripäradest ja kasutusspetsiifikast. Samas peab töö huvides ütleva, et tehtud lihtne võrdlus ei arvesta ehituse ruutmeetri maksumust (väiksem ruum – vähem ruutmeetrid – odavam ehitada) ka ei arvesta see võimalikku kokkuhoidu ehituskonstruksioonidelt (liitumaku on kergem ja seega ei pea ehitama nii tugevat põrandat). Veel ei ole arvutustes arvesse võetud jahutuselt saadavat kokkuhoidu. Iga kraad lubatust kõrgemat temperatuuri tähendab väiksemat jahutusvajadust ning seega igapäevast rahalist kokkuhoidu.

2.2.2 Superkondensaatorid

Viimase kümme aastaga on suure arengu teinud üli- või superkondensaatorid. Arengu tulemusena on nende töökindlus ja nimipinged kasvanud ning hind langenud sellisele tasemel, et neid saab teatud spetsiifiliste rakenduste korral kasutada UPS seadme energisalvestuselemendina. Probleemiks on tänaseni nende suhteline uudsus ning sellest tulenevalt väike tootjate arv. Samas on siinkohal heameel tõdeda, et üks selle valdkonna pioneere on Eestimaine firma *Skeleton Technologies*.

Superkondensaatorite kasutamisel UPS-i energia salvestamiseks on võrreldes traditsiooniliste patareidega palju eeliseid.

- Minimaalne aeg nullist kuni täislaadimiseks võtab umbes 1-2 minutit (olgu öeldud, et akudel on laadimisaeg tundides või kümnetes tundides).
- Eluiga kuni 20 aastat.
- Ülisuur laadimistsüklite arv – kuni 9 millionit kasutuskorda.
- Kõrge efektiivsusega. Pliiakude puhul kuni 95% versus 75-80%.
- Lai töötemperatuuride vahemik -40 °C kuni + 60 °C.
- Hooldusvaba.
- Võime tühjendada kuni 0 V.
- Materjalide madal mürgisus.
- Puuduvad liikuvad osad ja keemilised reaktsioonid.
- Väga kerged.



Joonis 2.2. Aku kasutusaja sõltuvus koormusest [6]

Joonisel 2.2 on näha, et näiteks 100 kW koormusel on aku kasutusaeg umbes 10 sekundit.

Turuuring, mille töö käigus läbi viisin näitas, et ülikondensaatorid õigustavad ennast kasutuskohtades kus UPS seadmelt oodatakse suhteliselt lühikest tugiaga kuid suurt töotsüklite arvu. Mõnekümne sekundilise tugiajaga kondensaatoritel UPS seade maksab sama suurusjärgu kui sama võimsusega ja väga heade plii-happe akudega UPS seade. Samas, kui soovitakse kondensaatorite abil tagada kümnetes minutites tugiaga, siis hind kasvab tohutult.

Küsisin hinda ka 300 kVA/275 kW UPS-i sobiva kondensaatorpatareiga süsteemile, kus tugi ajaks oleks nimikoormusel 10 minutit. Superkondensaatorikappide ruum peaks

olema suurusega umbes 60m² ja sellise komplekti maksumus alates 2020. aastast on umbes 2,9 miljonit eurot. Tehniliste omaduste poolest on superkondensaatorid varutoiteallikana kõige sobivamad tippkoormustel töötavatele seadmetele, kestus on umbes 30 ms kuni 5 sekundit ja tsükkel umbes 2-3 minutit. Meditsiiniuasutustes on nad sobivad näiteks MRT-aparaatidele või angiograafidele.

Joonisel 2.3 on esitatud superkondensaatoril põhinev energiasalvestusmoodul. [7]



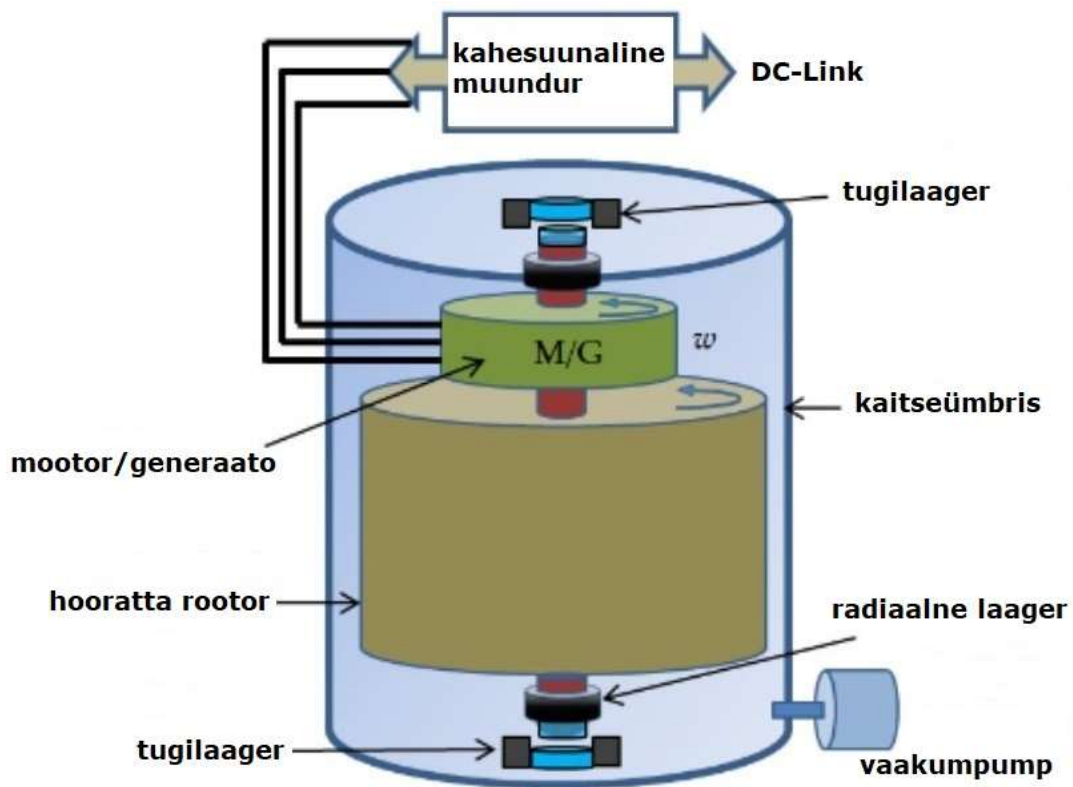
Joonis 2.3 Superkondensaatoril põhinev energiasalvestusmoodul

2.2.3 Hoorattaga salvesti

Roor/hooratas on dünaamiline akumulaator, mis kogub kineetilist energiat roorit ümber oma telje pöörates, samal ajal kui roori mass ulatub mitme tonnini. Roor pöörleb vaakumis kiirusega 20-50 tuhat pööret minutis.

Joonisel 2.4. on kujutatud UPS-i pöörleva varuallika topoloogiat. [8]

Mootorisse/generaatorisse sisenev elektrivool põhjustab roori pidevat pöörlemist väga suure kiirusega. Võrgu volukatkestuse korral vabaneb kineetiline energia mootori/generaatori kaudu. Vabanenud energia hulk ja autonoomse töö kestus sõltuvad otseselt roori massist ja pöörlemiskiirusest. Ja kuigi roori paigaldamiseks vajalik ruum on umbes pool akude jaoks vajalikust ruumist, ei sobi kirjeldatud lahendus energiavarustuse tagamiseks siinsetes meditsiiniuasutustes.



Joonis 2.4 vertikaalse teljega vaakumkeskkonnas hooratas.

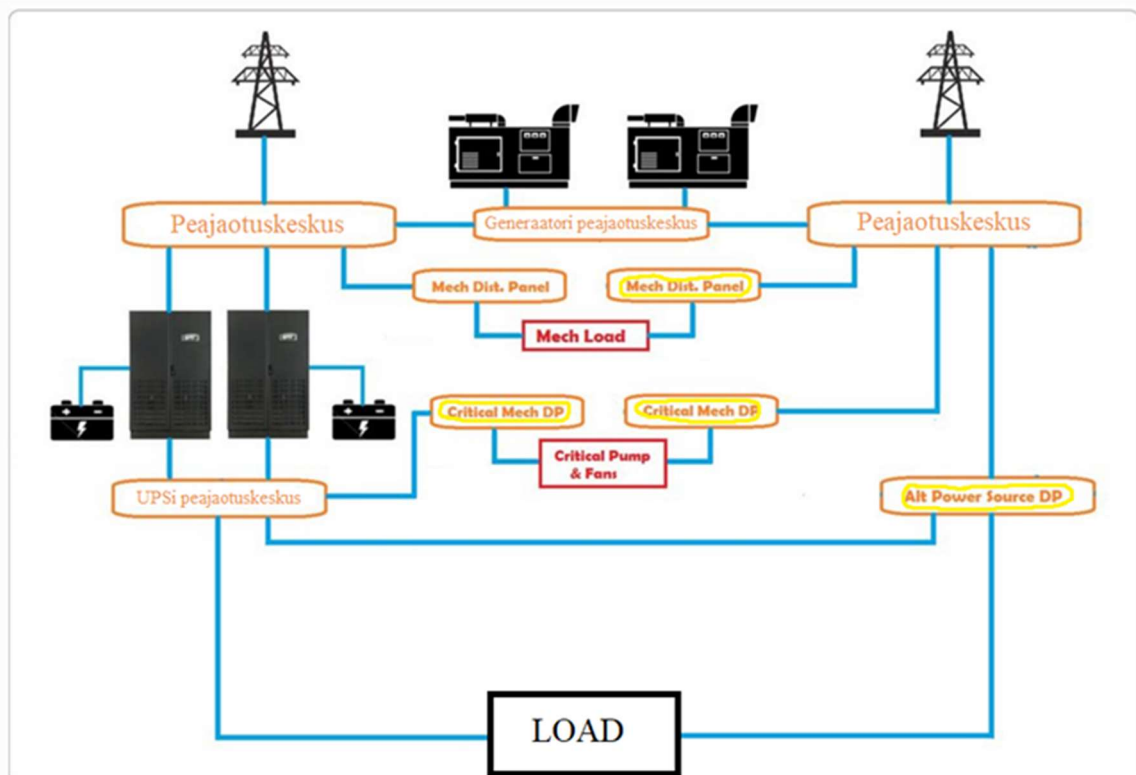
Rootori energiasalvestina kasutamise puuduseks on asjaolu, et rootorsüsteem on tavaliselt ette nähtud üsna lühiajaliseks, umbes 15 sekundiliks energiaga varustamiseks. Kui selle aja jooksul mingil põhjusel varugeneraator ei käivitu, siis nii lühikese aja jooksul pole tehnilisel personalil lihtsalt aega midagi ette võtta. Ja kuigi tõenäosus, et haigla alajaama kahes toitefideris tekib korraga rike ja ka varugeneraator ei käivitu, on väga väike, võivad olukorra ilmnemisel olla väga traagilised tagajärjed ja põhjustada kalli aparatuuri kahjustumist või ohtu patsientidele.

Hoorattaga salvesti probleemiks on ka nende väga väikene tootjate arv. Euroopas ei ole täna ühtegi tootjat, ainult USAs. Mis tähendab seda, et selliste seadmete hooldus on ülimalt kallis kuna spetsialistid tuleks regulaarselt tellida USA´st. Samas mehhaaniliselt liikuv seade vajab hooldust ning seda vältida on väga suur risk. Ei suuda isegi ette kujutada millist kahju võib tekitada mitme tonnine, kiirusega kuni 50 000 pm pöörlev keha kui ta peaks tugilaagri rikke tõttu ruumis liikuma pääsema.

3. KESKSE UPS SEADME ÜHENDUSVÕIMALUSED HOONE ELEKTRISÜSTEEMIGA

Meditšiinasutused on enamasti esimine kategooria elektritarbijad, kus elektrivarustuse katkemine võib põhjustada ohtu inimeste elule, ohtu riigi julgeolekule, tuua kaasa olulist materiaalselt kahju, põhjustada riket keerukas tehnoloogilises protsessis või kommunaalteenuste, side- ja televisioonirajatiste oluliste elementide toimimise katkemist jne.

Esimese kategooria elektritarbijad peavad tavalistes režiimides olema varustatud elektriga kahest teineteisest sõltumatust reservtoiteallikast. Ühe toiteallika võimalik elektrikatkestuse on lubatud ainult väga lühikese aja vältel ja tagatud peab olema automaatne toite taastamine.



Joonis 3.1 Elektrivõrgu kvaliteedi suhtes tundlike tarbijate toiteallika diagramm

Joonisel 3.1 on näidatud elektrivõrgu kvaliteedi suhtes tundlike tarbijate toiteallika diagramm. See lahendus võimaldab tarbijatel kasutada nii tavapäraseid toiteallikaid kui ka varuallikaid (generaatorid), samuti katkematud toiteallikaid (UPS-e).

Ühe või isegi mitme toiteallika rikke korral võimaldab lahendus töötada manuaalses režiimis või täielikult automaatrežiimis, vahetada kriitilised koormused kiiresti

alternatiivse skeemi vastu. Kahjuks on aga toodud lahendus rahaliselt kõige kallim. Kuna välivõrgust tarnivatel fiidritel on juba erinevad toiteallikad, kaks paralleelset generaatorit, paralleelsed UPS-id, samuti võimalus lülitada koormus möödaviikude kaudu varuskeemile.

3.1 Möödaviik

Uute katkematute varutoiteallikate kavandamisel või vanade süsteemide renoveerimisel tuleb püüelda selle poole, et mistahes toiteallikas peab olema projekteeritud avestades liiasust (ingl k *redundancy*). Mõne tarbija jaoks, näiteks: meditsiinasutused, andmekeskused, serverid, on varutoiteahelate ja -toiteallikate olemasolu kohustuslik.

Reservtoiteallikate ja varuallikate arv projekteerimisel sõltub otseselt koormuste tüübist. Nimelt sellest, kui kriitilised on viimased elektrikatkestuste suhtes. Kas nad võivad põhjustada eluohtlikke olukordi (näiteks: operatsioonisaalid või haiglate intensiivpalatid) või elektrikatkestusi, või suuri materjalikuluseid (näiteks: andmekeskused).

Paralleelseks tööks mõeldud UPS-i või ühe UPS-i kavandamisel tuleb erilist tähelepanu pöörata süsteemi töökindluse suurendamisele. Näiteks peaks vajadusel olema võimalik iga UPS eraldi või kõik koos välja lülitada või UPS-i peamistest paneelidest mööda minna.

Hädaolukorras toimiva ümberlülitamise korral võivad lõpptarbijad olla silmitsi elektrikatkestustega. Kahjuks võib see juhtuda isegi kõige usaldusväärsema elektrivarundussüsteemi korral. See võib näiteks olla olukord, mis on seotud UPS-i remondi, hoolduse, ühe või mitme UPS-i täieliku eemaldamisega või UPS-i põhivõrgu lahtiühendamisega üldisest katkematust toiteallikast. Sellistes olukordades kasutatakse kas mehaanilist või staatilist möödaviiku.

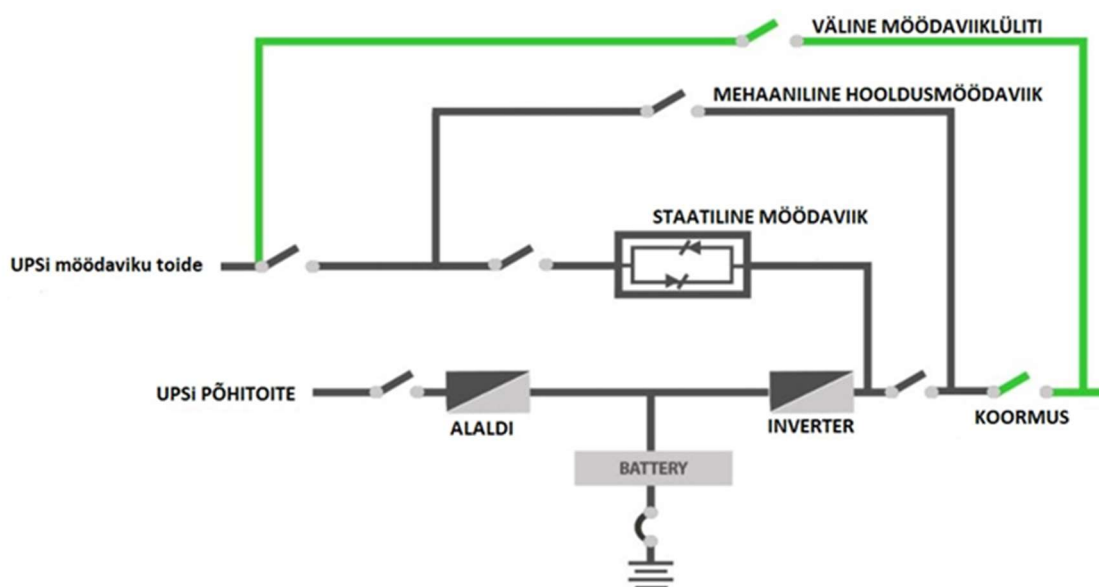
3.1.1 Staatiline möödaviik

See on katkematu toiteallika (UPS) töörežiim, milles UPS-i sisend on otse või parandus- ja filtreerimisahelate kaudu ühendatud UPS-i väljundiga. Selles režiimis ei suuda UPS praktiliselt väljundpinge kvaliteeti mõjutada. UPS viiakse möödaviigurežiimi kas juhtpaneelilt sunniviisiliselt või lülitub UPS ülekoormuse või talitlushäire korral ise sellele režiimile.

3.1.2 Mehaaniline möödaviik

Mehaaniline möödaviik on kontaktkoormuse kaitselüliti, mis möödub staatilisest möödaviigust. See on ette nähtud UPS-i töölt kõrvaldamiseks, eemaldades UPS-i

elementidest pinge. Kui käsitsi möödaviik on sisse lülitatud, tarnitakse koormus möödaviigu sisend-käsitsi möödaviik-UPS väljundahelast. Sel juhul on UPS-i elemendid: alaldi, muundur, aku (AB), staatiline möödaviik, kui käsitsi möödaviik on sisse lülitatud, saab neid hoolduseks, remondiks, testimiseks, jne pinge alt välja lülitada (vooluvõrgust ja koormusest lahti ühendada). Rääkida patareide pingest vabastamisest pole päris õige, kuna laetud olekus aku on võimas pideva pinge allikas, mis varieerub suuresti UPS-i nimivõimsusest ja UPS-i aku kestvusest nimikoormusel. Ja see võib aku terminalides jõuda 1500 VDC-ni ja kujutada ohtu teenindavale personalile.



Joonis 3.2 UPS-i skemaatiline diagramm

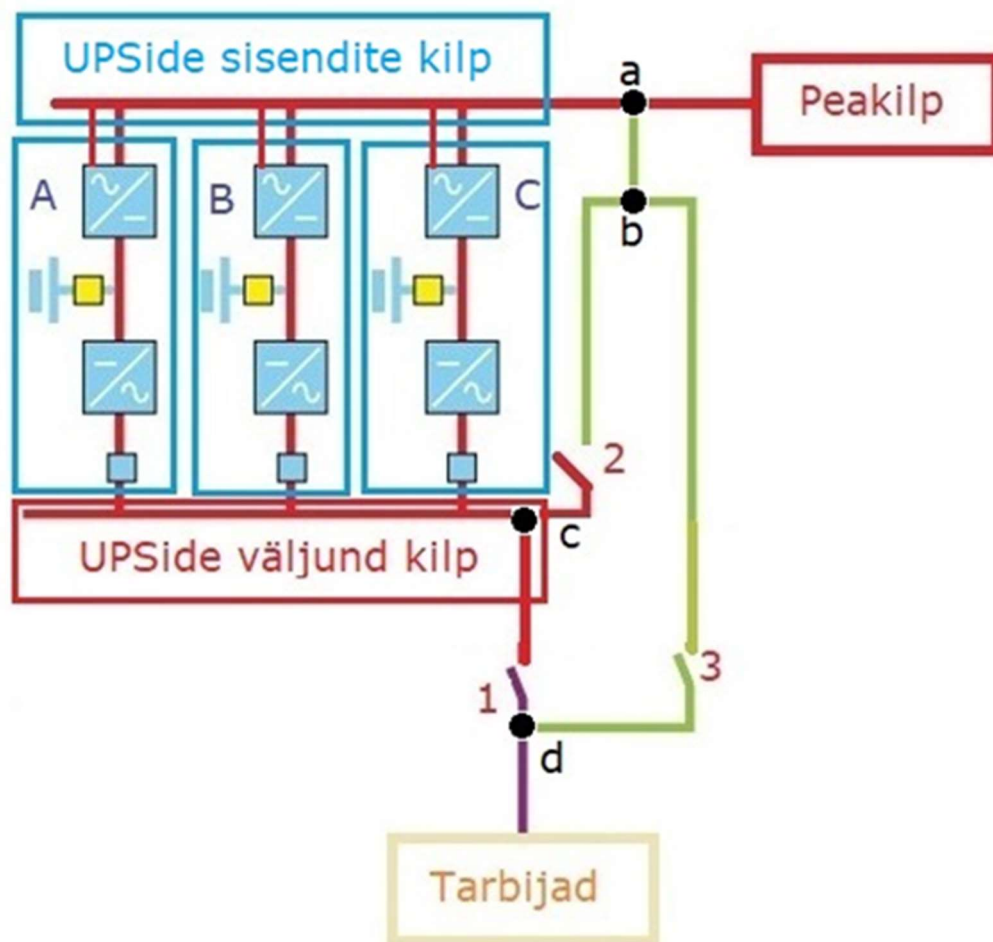
Staatilise möödaviigu lahtiühendamise põhjuseks võivad olla ka muud tegurid peale remondi või hoolduse. Iga UPS võib töötada ülekoormusel ja ülekoormusel töötamise aeg sõltub otseselt kahest tegurist: UPS-i üle nimivõimsusel töötamise ajast ja ülekoormuse suuruselt. Mõlemad parameetrid on omavahel seotud. Näiteks:

- Muunduri ülekoormus 110% võrra, lubatud tööaeg selles režiimis on 60 minutit.
- Muunduri ülekoormus 125%, lubatud tööaeg selles režiimis on 10 minutit.
- Muunduri ülekoormus 150%, lubatud režiim selles režiimis on 60 sek.

Kui muunduri kaitsmiseks on ülalnimetatud väärtused saavutatud, lülitub UPS automaatselt staatilise möödaviigu režiimi. Joonistel 3.3 – 3.4 on esitatud UPS-de erinevad elektriskeemid koos mehaanilise möödaviigu kasutamisega.

3.2 Üldise möödaviigu skeem

Joonisel 3.3 on esitatud jaotuskilbiga ühendatud paralleelselt töötavate tsentraliseeritud möödaviiguga UPS-ide ühendusskeem.



Joonis 3.3 UPS-i elektriskeem koos mehaanilise möödaviiguga

Skeemi eelised. Kirjeldatud ühendusskeem võimaldab remondi või hoolduse ajal iga UPS-i eraldi lahti ühendada või sooritada lülitamistoiminguid, kus lõpptarbija pinge tarnitakse mööda UPS-i ja UPS-i põhikilpi. Näiteks hädaolukorras, kui kõik UPS-id ja UPS-i põhikilbid tuleb tarbijatele elektrienergia teenust tagavast üldvõrgust eemaldada. UPS-i normaalse töö ajal jäävad kaitselülitid nr 2 ja nr 3 lahti. Kaitselüliti nr.1 on sisse lülitatud (diagrammil pole näidatud iga UPS-i kaitselüliteid, mis asuvad UPS-i peamistes sisend- ja väljundkilpdes. Koormuste elektrivarustus käib otse UPS-i kaudu.

- 1. samm. UPS A, B, C viiakse hooldusmenüü kaudu staatilise möödaviigu režiimi.
- 2. samm. Kaitselüliti nr.3 viiakse asendisse "sisse". Selles etapis tarnitakse tarbijatele elektrit paralleelselt nii UPS-i ja UPS-i põhikilbi ("Peakilp" → a → c → d → "Tarbijad") kui ka varutee kaudu ("Peakilp" → a → b → d → „Tarbijad“)

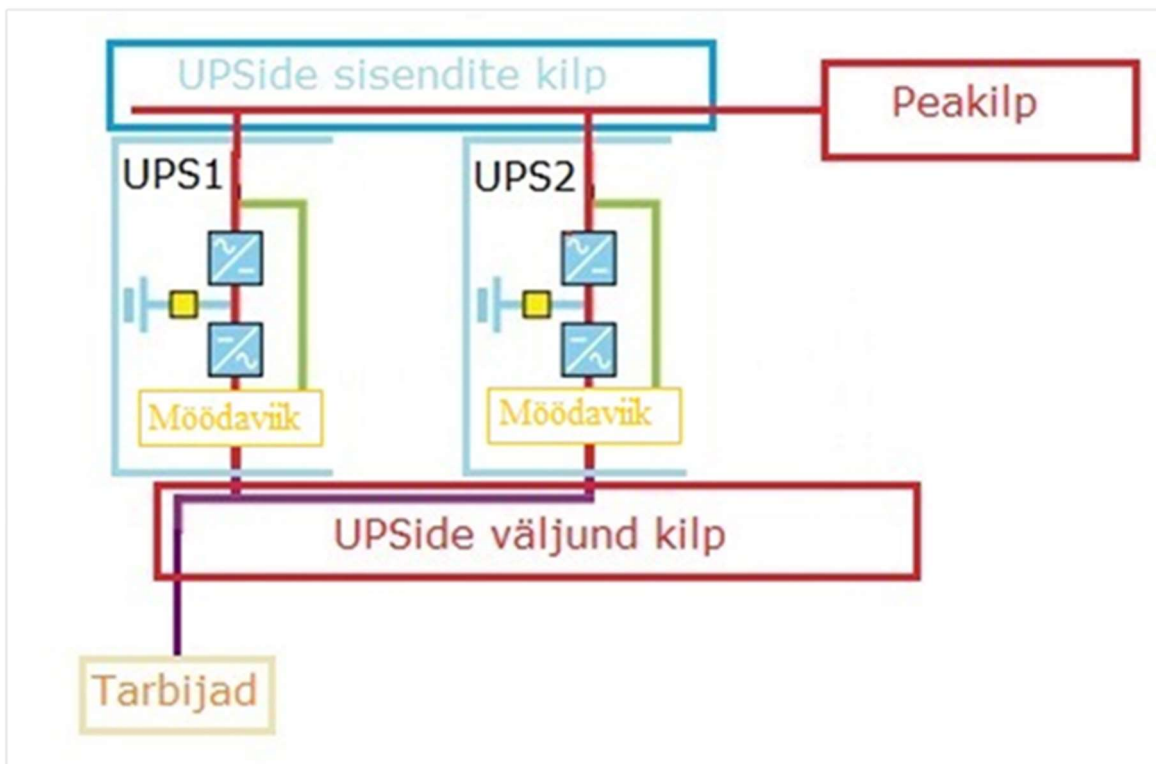
- 3. samm. Kaitselülitid nr 1 ja nr 2 lülitatakse välja. Selles etapis tuleb tarbijatele mõeldud energia järgmise tee kaudu: („Peakilp” → a → b → d → „Tarbijad”). Kilbid "UPS-ide sisendkilp", "UPS-ide väljundkilp" ja kõik UPS-i seadmed saab täielikult vooluringist välja lülitada.

Olukorras, kus UPS-i paralleelne toimimine on häiritud (UPS ei saa sünkroonselt töötada ja viimasel võib olla hädaseiskumine) ja UPS-i üks või mõlemad peamised jaotuskilbid on avarii tõttu välja lülitatud, võimaldab taoline skeem tehnilisel personalil 5–10 minuti jooksul varutoitesüsteemi abil operatiivselt ümber lülitada ja taastada elektrivarustus meditsiiniliste asutuste kriitiliste koormuste jaoks.

Kuna kirjeldatud elektrivarustuse skeemi korral saavad meditsiinasutuse kriitilised koormused elektrit otse välisest elektrivõrgust, on seadmete remondiperioodiks hädavajalik sisse lülitada lisatoiteallikas.

Skeemi miinused. Elektrikilpidesse on vaja paigaldada täiendavad kaitselülitid. Sõltuvalt UPS-i koguvõimsusest võivad kaitselülite mõõtmed vajada lisapinda elektrikilbis. Seetõttu vajab see rohkem ruumi ja vastavalt ka suuremat materjalikulu.

3.3 Hajutatud möödaviik



Joonis 3.4 UPS-i sisseehitatud mehaaniline ümberviik

Joonisel 3.4 on esitatud paralleelselt töötava UPS-i ühendusskeem. Igal sellise skeemiga UPS-il on oma sisseehitatud mehaaniline möödaviik. Esitatud skeemi rakendamine võimaldab iga UPS-i remondi või hoolduse ajaks eraldi välja lülitada.

Skeemi eelised. Paralleelsete UPS-ide suure võimsuse korral ei ole vaja kasutada täiendavaid suurte mõõtmetega kaitselüliteid. See omakorda vähendab peamiste elektrooniliste kilpide suurust ja vastavalt ka ruumide suurust.

Skeemi puudused. Mehaanilise möödaviigu paigaldamine ei pruugi tehniliste kaalutluste tõttu olla võimalik. Näiteks ei paigalda mõned UPS-i tootjad UPS-ile mehaanilist möödaviiku, kui nende võimsus on suurem kui 250 kW.

Olukorras, kus rikutakse UPS-i paralleelset toimimist (UPS ei saa sünkroonselt töötada ja viimasel võib olla hädaseiskumine), on üks või mõlemad UPS-i peajaotuskilbid avarii tõttu välja lülitatud.

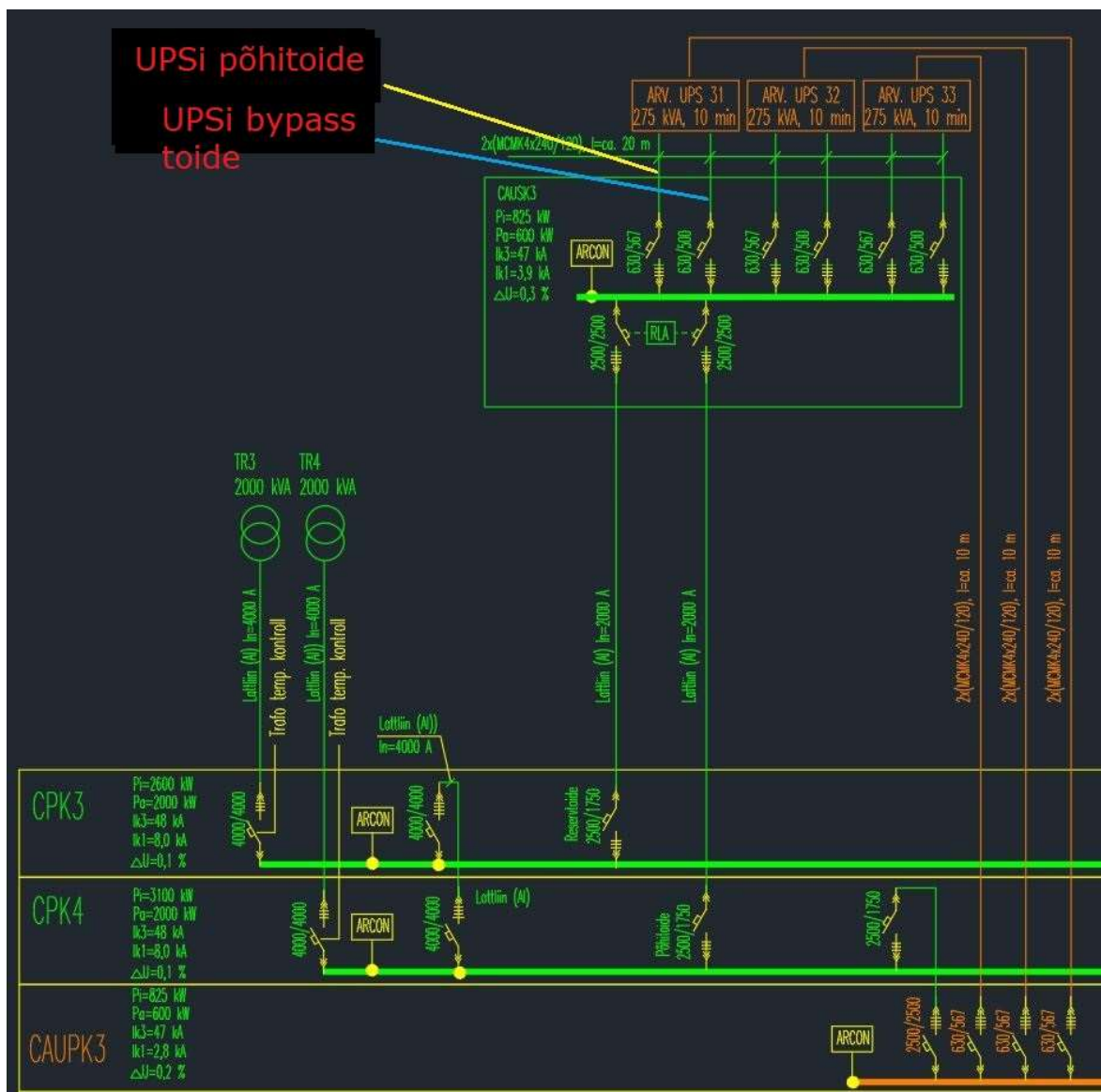
Joonisel 3.4 esitatud ühendusskeem ei võimalda tehnikutel taastada toidet lühikese aja jooksul. See on eriti aktuaalne suurtes meditsiinasutustes, kus korruste jaotuskilpidel on kaks iseseisvat toiteallikat ja peamine toiteallikas on UPS-ist.

Nagu ka Joonisel 3.4 esitatud skeemi korral, on meditsiinasutuse seadmete remondiperioodil hädavajalik sisse lülitada kriitilistele seadmetele vajalik lisatoiteallikas. Isegi kui iga jaotuskilbi jaoks on varutoiteallikas, kulub tehnikul varutoiteallikale üleminekuks väga kaua aega. Igasse jaotuskilpi automaatse toiteallika paigaldamine lahendab ülaltoodud probleemi. Kuid see suurendab vastavalt iga jaotuskilbi maksumust ja vajab ka täiendavat ruumi.

4. MUSTAMÄE HAIGLA C KORPUSE ELEKTRIVARUSTUSE STRUKTUURSKEEM

Mustamäe haigla, C korpuses, näeme üks lahendusid kuidas võib ühendada UPSid.

Nagu Joonisel 4.1 esitatud skeemilt näha, võetakse UPS-i toide ja selle möödaviik reservilülitamise automaatika mistahes (RLA) asendis kas toitekilbilt CPK3 või CPK4. Alternatiivne UPS-i ühendusskeem võimaldab toitetrafode otseühendust prioriteetsete tarbijate jaotuskilpidega. Mõlemal skeemil on oma plussid ja miinused ning vastavalt kasutatakse mõlemat skeemi UPS-i konfigureerimiseks. Mõlemat ühendusskeemi kasutatakse laialdaselt kogu maailmas.



Joonis 4.1 UPS-ide ühendusskeem

4.1 Peakilpide kaitselülitid

Peakilpide, UPS-ide peakilpide või mistahes muude seadmete projekteerimisel on vaja kasutada alates 250 A sahtel tüüpi (inglise k *plug-in*) kaitselüliteid ja alates 630 A vankertüüpi kaitselüliteid. Selliste lülite eelis on, et vajadusel saab neid hooldada ja vahetada ilma et peaks kogu jaotlat pingetuks tegema.

4.2 Millist tüüpi UPS sobib peakilpide jaoks?

Nii Eestis kui ka paljudes Euroopa Liidu riikides on elektrivõrgu pingeline 230/400 V ja 50 Hz, kuid kahjuks võivad elektrivõrgus tekkida mitmesugused erinevate teguritega seotud häired. Kõrgepingeliinide rike, elektrivõrke mõjutavad looduslikud tegurid, tööga seotud inimlikud vead jne. Lõppkokkuvõttes võib lõpptarbijateni jõudva voolu pingeline ja sagedus olla väga erinev. See võib aga viia rivist välja kallid seadmed või, mis veelgi hullem, kujutada ohtu inimestele.

Meditsiiniseadmete jaoks on vaja kasutada kahekordse muundamisega UPS-e (st kolmandat tüüpi). Topeltmuundamise UPS-id tagavad võrgus ja patareidel töötamisel õige sinusoidi, lülituvad võrgutoitelt akudele ja vastupidi ilma katkestusteta ning hoiavad väljundis stabiilselt seatud sagedust, olenemata pingeline olemasolust sisendis.

Sinusoidi, selle kvaliteedi ja kõrgsagedushäirete filtreerimise seisukohalt pole meditsiinivarustusel erinevusi, peaaegu kõigi tootjate kaasaegsetel UPS-idel on rahvusvahelised elektromagnetilise ühilduvuse sertifikaadid. Enne projekteerimist peab hindama tarbija summaarset vajalikku nimivõimsust, valides kas ühefaasilise või kolmefaasilise UPS-i. Mitte eriti kriitiliste ja odavate seadmete jaoks võib osta isegi odavaid reserv UPS-e, kuid kriitilisema koormuse jaoks on parem valida liin-interaktiivsed või isegi topeltkonversiooni topoloogia järgi ehitatud seadmed [9].

4.3 Üle 100 kVA UPS-i valik

Uute raviasutuste elektripaigaldiste oodatav eluiga on ca 40–50-aastat. Seejärel tuleb uute elektripaigaldiste projekteerimisel ette näha nii kaabelliinide ristlõike varu kui ka peakilbi ja UPS-kilpide nimitöövoolu reserv vähemalt 30%, samuti ka reservkohad kilpides. Kilpide hilisem moderniseerimine ja kaablite vahetamine olemasolevates meditsiinasutustes nõuab märkimisväärseid kapitaliinvesteeringuid ja mis kõige tähtsam, kõigi elektrisüsteemide töö häirimist. Eespoolnimetatud töödega seoses on vajalik operatiivne ümberlülitamine, mis viib omakorda elektrikatkestusteni operatsioonisaalides, intensiivravi osakondades, MRT-s, laborites, serveriruumides jne. Meditsiinasutuse katkematu toiteallika võrk peaks tavaliselt koosnema kahest sõltumatust UPS-süsteemist.

UPS-i valimisel on oluline valida UPS-i võimsus 20% marginaaliga. Oluline on mees pidada, et tootja deklareeritud mistahes UPS-i kõrge efektiivsus toimub ainult nimivõimsuselähedase režiimi korral. Seetõttu ei ole pikaajalise töötamise ajal 50–60% ohutusvaruga UPS-i valik majanduslikult otstarbekas.

Kuna angiograafi või MRT töö ajal tekib nende seadmete maksimaalne tarbitav koormus väga lühikese aja jooksul (2 kuni 20 ms) 3–5-minutise intervalliga, siis see tähendab, et MRT maksimaalse energiatarbimise korral, näiteks 120 kVA, võib ülejäänud aeg olla energiatarve ainult 30 kW. Üle 100 kVA võimsusega UPS-e kasutatakse tavaliselt meditsiini-asutustes, kus on vähemalt operatsioonisaal, taastumisruum, intensiivravi osakond, MRT jne.

Elutähtsate tarbijate jaoks, nagu operatsioonisaalid, intensiivravi osakonnad, sünnitusosakonnad või elektritundlikud seadmed, näiteks MRT või angiograafid, tuleks välja töötada paralleelsed UPS-id. Paralleelsete UPS-ide soovitatav konfiguratsioon on vähemalt $n+1$ (vt Joonis 3.4). Loomulikult on sellise skeemiga ($N+1$, $N+2$, jne) vaja reserv UPS-i süsteemi toitmiseks ette näha varukaitselüliteid, samuti varukaitselülite väljundkilbil UPS-i varulüliteid.

Vaatleme järgmist skeemi: koormus on 500 kVA, selleks on 3 UPS-i ühendatud paralleelselt. Kummagi võimsus on 275 kVA. Normaalse töö ajal on koormus jaotatud ligikaudu võrdselt ja on umbes 170 kVA iga UPS-i jaoks. Ühe UPS-i hooldamisel või remondil katavad kaks ülejäänud UPS-i nõutava nimivõimsuse ilma probleemideta. Selliste UPS-de rühma akude varu peaks nimikoormusel olema umbes 30–60 minutit.

Kirjeldatud akutoite tagamine on vajalik kui töötavad sellised seadmed nagu MRT või KT, ulatub skaneerimistsükli kestus 10 minutist ühe tunnini. Selliste seadmete töö võivad operaatorid peatada, kuna see ei ohusta patsiente. Seega, kui sellised koormused on välja lülitatud, pikeneb UPS-i autonoomne tööaeg märkimisväärselt.

Seriline olukord võib ilmneda juhul, kui automaatne teavitussüsteem jõuab MRT või KT operaatoripaneelile, mis mingil põhjusel, kui alajaama põhitoiteallikas on kadunud, tagab elektritoite juhaks kui põhitoiteallikas (generaator) ei lülitunud sisse ja RLA ei töötanud. Sel juhul peaks meditsiinipersonal võimaluse korral skanneerimise peatama.

Meditsiiniaparaatide väljalülitamist tuleks kasutada ainult viimase abinõuna ja seda ei tohiks pidada UPS-i kasutamise tavapäraseks rakenduseks. Selline väljalülitamine ei ole kõigi muude elutähtsate süsteemide puhul mingil juhul rakendatav. Nagu näiteks: operatsioonisaalid, angiograafid, intensiivravi osakonnad jne.

4.4 Moodulaarsed UPS-id

Viimastel aastatel on välja töötatud UPS-i moodulmodelid. Moodul-UPS-ide eelised tavapärase UPS-i konfiguratsioonidega võrreldes (püsiva võimsusega UPS-id):

- UPS-i nimivõimsusel, näiteks 200-300 kVA, on moodulmodeli mõõtmed väiksemad.
- Näiteks 360 kVA UPS-il on 6 sõltumatut 60 kVA moodulit. See võimaldab luua paindlikuma süsteemi, mis on mõeldud pikaajaliseks koormuseks ja seega säilitada kõrge efektiivsuse.
- Vigase mooduli asendamine või lisamooduli paigaldamine ei nõua UPS-i väljalülitamist (kiirvahetatav).



Joonis 4.2 Moodul UPS [10]

Näiteks: kogu moodul UPS-i seadme koguvõimsus võib olla vastavalt 250 kW, iga seadme mooduli võimsus on 50 kW. Selle konfiguratsiooni korral saab olenevalt koormusest esialgu kasutada vähem moduleid.

Moodulkonfiguratsiooniga UPS-i projekteerimisel ei tohiks arvestada, et ühel mitmest moodulist koosneval UPS-i kapil on 1+1, n+1 või n+n konfiguratsioon. UPS-i koondamise tingimuste täitmiseks on vaja käsitleda iga UPS-i seadet (sõltumata sisemoodulite arvust) eraldi UPS-na.

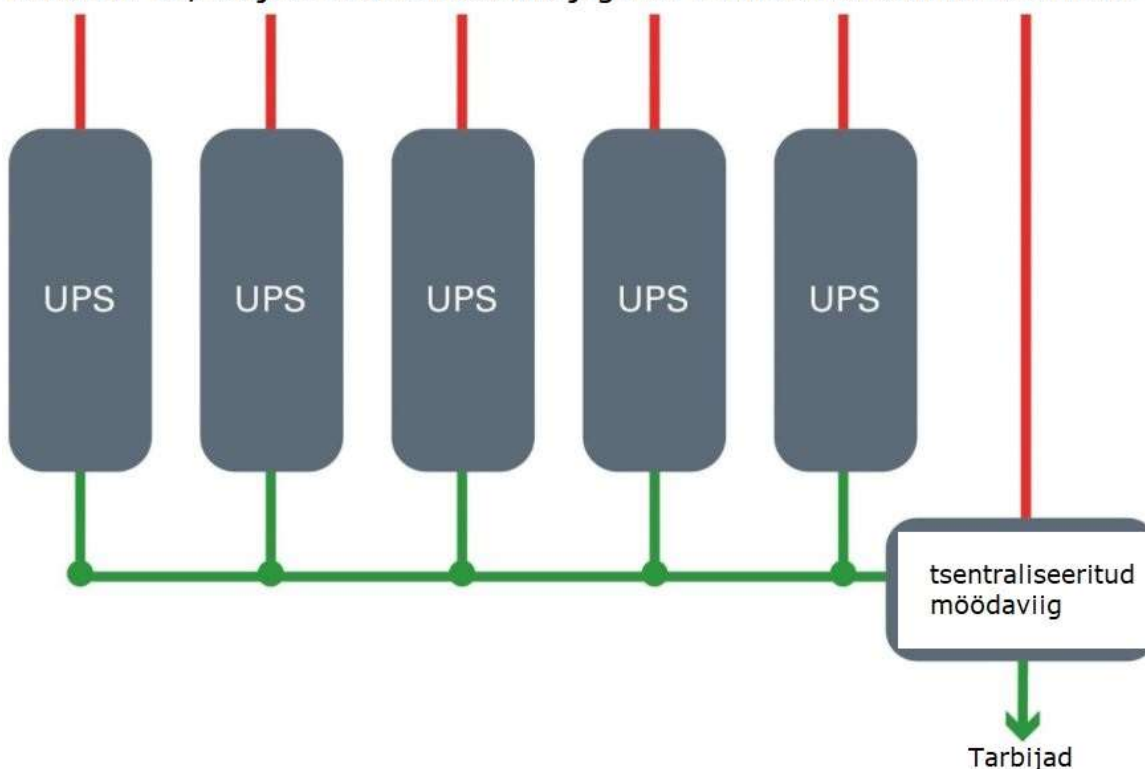
4.5 Paralleelsete UPS-ide sünkroniseerimine

UPS-i normaalseks tööks paralleelses režiimis on nende vahel vaja pidevat sidet.

- Kõigi tavarežiimis või akurežiimis töötavate paralleelsete UPS-ide sünkroniseerimine peab puhtuse huvides olema rangelt sünkroniseeritud.
- Staatilisele moodsavile üleminekul peab see toimuma sünkroonselt kõigi UPS-ide vahel.
- Staatilisele moodsavile üleminekul peab see toimuma sünkroonselt kõigi UPS-ide vahel.
- Ühe UPS-i rikke korral lülitub viimane automaatselt välja (ainult siis, kui vigane UPS "näeb", et teised UPS-id töötavad paralleelselt), ülejäänud teenindatavad UPS-id jaotavad koormuse omavahel ära.

Joonisel 4.3 on esitatud elektrienergia jaotus paralleelsete UPS-idega EATON-hot-sync- tehnoloogial [11].

Hot Sync üleliigne võimaldab N + x paralleelselt paigaldada kuni kaheksa Eaton'i UPS-i, kusjuures UPS-moodulid jagavad nende vahel kriitilist koormust



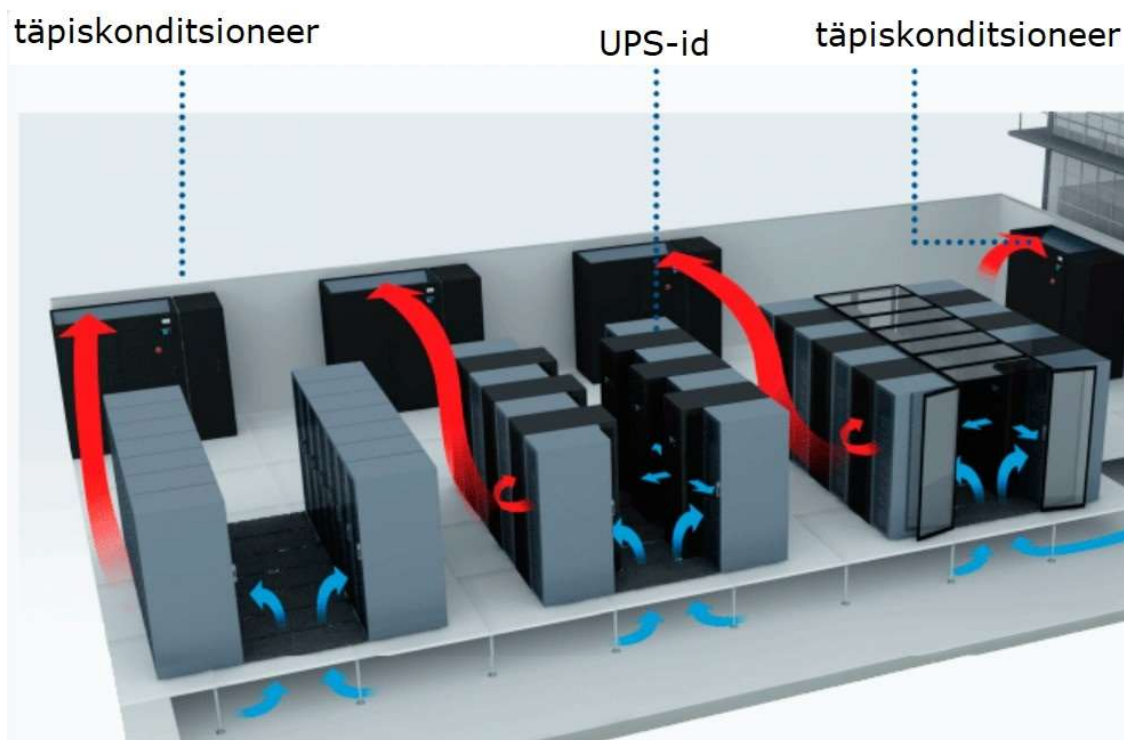
Joonis 4.3 Elektrienergia jaotus paralleelsete UPS-idega EATON-hot-sync- tehnoloogia korral

UPS-ide paralleelseks tööks võib kasutada Eaton HotSynci tehnoloogiat. Selle tehnoloogia kohaselt toimub UPS-ide vaheline suhtlus UPS-i väljundite kaudu, mitte liidesekaartide vms kaudu. Seetõttu suureneb kogu süsteemi usaldusväarsus.

4.5.1 UPS-i jahutussüsteemid

UPS-i jahutussüsteemi disain on katkematu vooluallika süsteemides väga oluline. UPS-i töötamisel on soojuse eraldumine (näiteks Eaton 93E-80 kW mudeli puhul) üsna suur. Näiteks mudeli 93 PM-250 kW nimikoormusel töötamise (4,5 kW) korral on soojuse eraldumine juba peaaegu 10 kW ja kui ruumis on mitu sellist UPS-i, siis jahutussüsteemi talitlushäire korral tõuseb ruumi temperatuur piisavalt kiiresti, mis võib tulevikus mõjutada UPS-i elektroonika jõudlust. Aku eluiga mõjutavat kõrget temperatuuri vaadeldakse antud töös eraldi.

Elupäästvate UPS-ide jaoks tuleb konstrueerida vähemalt kaks jahutuselementi, kusjuures nad peavad tagama iga seadme jahutusvõimekuse 100%-liselt. Need jahutussüsteemid peavad olema varustatud varutoiteallikatega. Sellisel juhul peavad jahutussüsteemi seadmed pärast lühiajalist elektrikatkestust iseseisvalt sisse lülituma ja minema kindlaksmääratud jahutusrežiimile. Vastasel juhul peab vähemalt üks jahutusseade saama toite otse UPS-ist. Jahutussüsteem on kõige tõhusam, kui UPS-id asuvad ruumis, kus on kõrgendatud põrand.



Joonis 4.4 Serveri/UPS-ide ruumi jahutamise skeem [12]

Joonisel 4.4 näitab, et külm õhk siseneb otse iga UPS-i ette ja ei levi kogu ruumis. Nii saavutatakse UPS-i tõhusam jahutamine ja vastavalt väheneb ka jahutussüsteemide energiatarbimine.



Joonis 4.5 Mustamäe haigla C korpuse UPS-i jahutamine (3 * 275 kVA paralleelselt)

Topeltpõranda kasutamise eeliseks on ka see, et sissetulevad ja väljuvad kaablid paigutatakse samuti põranda alla. Kaablid on ka võimaliku tulekahju korral vähem ohus ja seetõttu ei vaja nad asendamist. Oluline on ka toiteallika skeemi taastamine võimalikult lühikese aja jooksul.

4.5.2 UPS-i aku konfiguratsioon

Akude valik toimub vastavalt projekti lähteülesandele, nimelt:

- Aku jaoks mõeldud UPS-i nimivõimsus.
- Minimaalne tööaeg nimikoormusel.
- Inverteri kasutegur (inverteri efektiivsus on soovitatav võtta võrdseks 0,85).

Samuti on vaja arvestada selle ruumi, kus patareid asuvad temperatuuriga. Soovitav töötemperatuur on + 20 °C. Kui akusid kasutatakse ruumis, kus temperatuur on näiteks

+25 °C, siis tuleb arvestada, et sellisel temperatuuril toimuvad keemilised protsessid on aktiivsemad. Kõrgemal temperatuuril töötades annavad patareid rohkem energiat, kuid väheneb ka akude eluiga.

UPS-i tööks vajalik eeltingimus on vähemalt kahe paralleelse akupatarei olemasolu. See on tingitud vajadusest, et kui üks vooluring väljub kasutusest jääb teine tööle. Sel juhul on elektrienergiaga varustamise aeg muidugi poole väiksem. Avariirežiimis on selline variant igatahes parem kui tarbija jääks üldse ilma elektrita.

4.5.3 UPS-i akude testimine

Kestvuskatsetused akude automaatse töö kontrollimiseks peaksid olema kohustuslikud. Mis kõige tähtsam, test tuleks läbi viia katsetatava UPS-i akude nimivõimsusel. Hiljem, vähemalt üks kord aastas on vaja läbi viia akude stressitestid, kui akud on mõeldud näiteks 30-minutiliseks pidevaks tööks ja UPS-i nimivõimsus on 275 kVA (247kW). Sama testi abil saab tuvastada UPS-i, muundurite jms toitekomponente.

Katse läbiviimiseks võetakse UPS üldisest toiteahelast välja ja ühendatakse vastava koormusega (umbes 247 kW). Reeglina kasutatakse selliste koormuste jaoks võimsaid elektrikaloriifereid, mis on omakorda ühendatud paralleelselt vahekiibiga. Viimane on ühendatud otse UPS-i väljundiga. Aeg, mille jooksul UPS välja lülitati, näitab akude seisukorda ja võimaldab tuvastada akud, mis on UPS-i esmakordsel kasutuselevõtul kaotanud märkimisväärse võimsuse võrreldes nende esialgsete väärtustega. Sellise koormuse korral on termokaamera abil hõlpsasti tuvastatavad vahetamist vajavad akud. Endiselt kasutuskoõblike akude taustal on viimaste temperatuur kõrgem.

Sellisel meetodil UPS-i akude testimisel on aga järgmised puudused:

- Näiteks kasutades elektrilisi kaloriifereid ei ole alati lihtne saavutada täiskoormust.
- Viimaste rentimine toob kaasa täiendavaid finantskulusid.
- Kui elektrilisi kaloriiferid lülitatakse nimivõimsusel sisse, eraldub katse käigus suur kogus kuuma õhku ja selle õhu jahutamine on suur probleem.

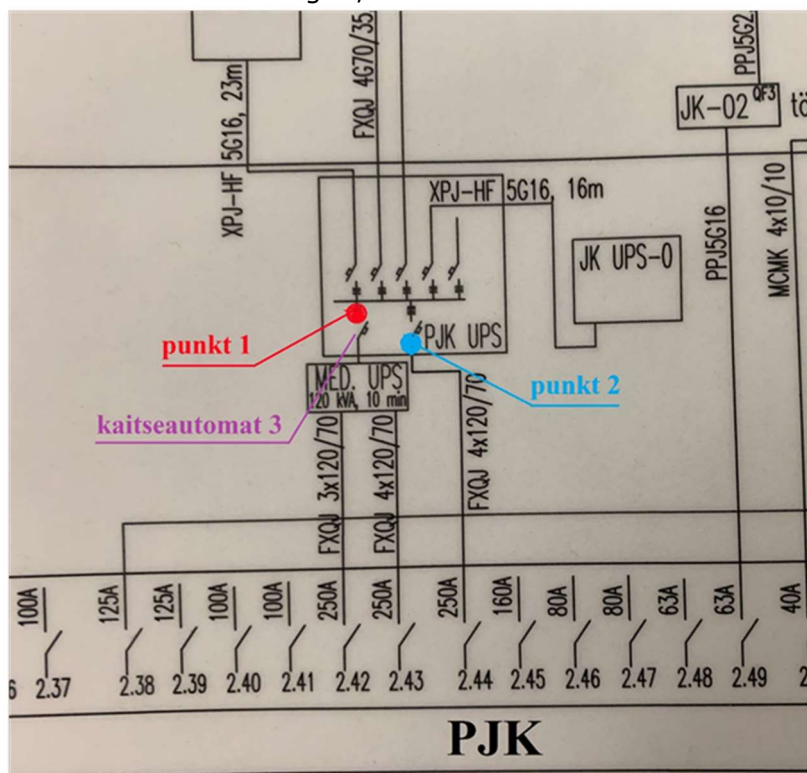
UPS-ide koormuse testimiseks on aga olemas Eatoni alternatiivne lahendus, nn Lihtne mahtuvustest (*Easy Capacity Test*). Lihtsa läbilaskevõimega testiga varustatud UPS-iga (Eaton 9390 ja 9395) saab testida kõiki toiteahelaid täisvõimsusel ilma välist koormust ühendamata. Kuna UPS-id kasutavad oma alaldeid ja muundureid sisemise koormuspangana ja võtavad võrgust ainult minimaalse võimsuse (ainult 5%), väheneb testimiseks vajalik energiatarbimine märkimisväärselt [13].

5. KAASAEGETE UPS-IDE ENERGIASÄÄSTLIKUD SÜSTEEMID ENERGIASÄÄSTUSÜSTEEMI (ESS) EATONI UPS SEADME NÄITEL

Eatoni uudne ESS-tehnoloogia võimaldab UPS-il saavutada 99% -lise efektiivsuse, mis on parim kvaliteet tööstuses, võimaldades UPS-il ohutult varustada tarbijat energiaga otse võrgust seni kui pinge ja sagedus on vastuvõetavas vahemikus. ESS-i kiire juhtimise algoritmid jälgivad pidevalt sisendvõimsuse kvaliteeti. Kui seatud künniseid rikutakse, läheb ESS üle kahekordse teisendamise algoritmile vähem kui 2 millisekundiga. ESS on olemas Eaton 9395 ja 9390 UPS-ides [14].

5.1 Lühisvoolude arvutused UPS-i süsteemide erinevate töörežiimide jaoks

Sageli ei arvestata jaotusvõrgu (katkematu võrgu) kujundamisel lühisvoolusid, mis võivad tekkida normaalse töö käigus. Kui töötab üks UPS, on vooluvõrgu lühisevoolud väga erinevad olukorrast, kus töötavad kaks või enam UPS-i paralleelselt. Samuti on vaja arvestada lühisvooludega, kui ühte mitmest UPS-ist hooldatakse või remonditakse või kui mingil põhjusel varustatakse tarbijaid elektriga lühiajaliselt otse välivõrgust. Võrgu tavapäraseks normaalseks tööks vajalike omaduste järgi valitud kaitselülitid ei pruugi alati sobida muude töörežiimide jaoks ega saa täita kaitsevahendite funktsioone. Teostatud mõõtmised näitavad selgelt, kui erinevad võivad olla lühisevoolud.



Joonis 5.1 Mustamäe haigla Verekeskuse elektrivarustuse struktuurskeemi fragment

Mõõtmised viidi läbi Megger instrumendiga MFT 1502/2.



Joonis 5.2 Megger instrument MFT1502/2

Mõõteseade MFT1502/2 võimaldab mõõta peajaotuskilbi (PJK) UPS-i elektrikilbi sisendite jaoks UPS-i väljundist L1-PE, L2-PE, L3-PE silmust. UPS-i tüüp Eaton 9390, 120 kVA. Mõõtmised viidi läbi PJK UPS-i kilbi kahes erinevas punktis.

Punktis "1" tehti mõõtmised kahes erinevas režiimis töötava UPS-iga: võrguühendus ja staatiline ümberviik. UPS on aktiveeritud. (kaitselüliti "3" on alati sisse lülitatud).

Punktis "2" näitasid mõõtmised, milline lühisvool võib tekkida "PJK UPS" kilbi sisendis, kui UPS eemaldatakse toiteahelast ja voolu antakse otse PJK-kilbilt.

Tabel 5.1 Lühisvoolude mõõtmistulemused

Mõõtmisrežiim	L1-PE, kA	L2-PE, kA	L3-PE, kA
UPS online režiim, mõõtepunkt 1	0,85	0,9	0,85
UPS staatiline möödaviik, mõõtepunkt 1	6,2	5,4	6,7
Mõõtepunkt 2	10,2	9,6	10,2

Tabelis 5.1 on ära toodud lühisvoolude mõõtmise tulemused. Ühefaasiliste lühisvoolude mõõtmiste jaoks kasutab arvesti faasist nullini rikkesilmuse takistuse ja pingeparameetreid.

Kuna võrgus olev pingel ei ole alati konstantne 230V või 400 V, siis tabelis 5.2 on esitatud 230 V pingel arvutatud lühisvoolud ja rikkesilmuse takistus.

Tabel 5.2. 230 V pingel arvutatud lühisvoolud ja rikkesilmuse takistused

Mõõtmisrežiim	L1-PE, kA	L2-PE, kA	L3-PE, kA
UPS staatiline bypass, mõõtepunkt 1	5,6 kA (224 V)	5,57 kA (223 V)	5,62 kA (225V)

Mõõtmised viidi läbi otse UPS PJK jaotuskapi lähedal ja vastavalt UPS-i enda lähedal. Sellest lähtuvalt ei tohi "UPS PJK" elektrikilbist kõige kaugemal oleva tarbija jaoks lühisvool enam olla suurem kui 0,3 kA. C32 A-kaitselüliti ei pruugi lühise korral tööle hakata, kuna sellise kaitselüliti reaktsioonilävi varieerub nimiväärtusest 6–10 korda. See tähendab 192–320 A piires. Ja vastavalt olukorrale, kus UPS-i remonditakse või hooldatakse ja "punkt 2" kaitselüliti on sisse lülitatud, on ühefaasiline lühisevool rohkem kui 10 korda suurem kui tavalise töö ajal Online's. Selles režiimis vajavad moodulkaitselülitid täiendavat lühisekaitset või peavad moodulkaitselülitite tüübid olema vähemalt 10 kA (10000 A).



Joonis 5.3 Kaitselüliti (MCB) katkestusvõimega 10 kA (10000 A) ,

5.2 Akude ja UPS-ide asukoht erinevates ruumides

Väga sageli ei arvestata katkematu toitega süsteemide, eriti UPS-ide jaoks varuallikate projekteerimisel järgmisi tegureid.

Tavapäraste VRLA-patareide temperatuur ruumis peaks olema eelistatavalt +20°C. Arvesse võetakse VRLA tüüpi patareid, sest tänapäeval on need endiselt UPS-ide populaarseimad toiteallikad. Superkondensaatorite, liitiumakude ja pöörlevate varutoiteallikate kasutamisel on teatud eelised. Kuid täna on mõnede allikate hind väga kõrge, samas kui teiste jaoks on UPS-i autonoomse töö aeg nimikoormusel väga lühike (keskmiselt 60 sekundit).

Kui UPS ja akud asuvad samas ruumis, tuleb kogu ruum jahutada temperatuurini +20 °C. UPS-i ennast ümbritsev temperatuur pole nii kriitiline. Viimane saab paikneda ja töötada siseruumides ilma tagajärgedeta, kui ümbritseva õhu temperatuur on +22-25 °C. Hädaolukorras, kui jahutussüsteem lakkab töötamast võib aga toatemperatuur tõusta väga kiiresti.

Näiteks: Eaton UPS-i mudeli 93 PM G2 250 kVA puhul on soojuse eraldumine nimikoormusel ca 9,6 kW. Temperatuuri tõus ruumis mõjutab peamiselt akude tööiga.

KOKKUVÕTE

Meditsiiniseadmed on võrgu pingele kvaliteedi suhtes väga tundlikud: lülitusmüra, parasiitpinge jms võivad põhjustada seadmete vale tööd, talitlushäireid ja kallite seadmete rikkeid ning mis kõige tähtsam, kahjustada patsiente. Kahtlemata on UPS-i kasutamine meditsiiniuasutuses vajalik ja isegi möödapääsmatu. Topelmuundamisega (*On-Line*) UPS-i kasutamine on ülekaalukalt kõige sobivam variant katkematu toiteallika jaoks. Neid iseloomustab nullist välja lülitumise aeg hädaolukorra režiimile, ilma et seadme väljundis toimuksid mööduvad protsessid. Inseneritöö on siinjuures väga oluline ja see peab eelnema UPS-i süsteemide ostmisele ja paigaldamisele, olgu siis tegemist olemasolevate elektrivarustussüsteemide rekonstrueerimisega või täiesti uue meditsiiniuasutuse rajamisega.

Käeolevas lõputöös vaadeldi vaid kõige olulisemaid aspekte, millele tasub tähelepanu pöörata UPS-i ostmiseks korraldatava pakkumise kavandamisel või ülesande koostamisel. On vaja kaaluda kõiki aspekte, mis on seotud UPS-ide kasutamisega meditsiiniuasutustes:

- Lühisvoolude arvutamine.
- Trafodest lõpptarbijateni ulatuvate kaitsevahendite selektiivsuse kohustuslik arvutamine;
- Kaitsevarustuse selektiivsuse kohustuslik arvutamine kõigi võimalike UPS-i töörežiimide jaoks.
- UPS-i / akude jahutamine tavapärase töö ja hädaolukorra ajal.
- UPS-i toite valimisel tuleb arvestada peamiste eeldatavate koormustega (näiteks MRT või angiograaf).
- Seadmete tarnijatel peab olema kohapealne hooldus- ja remondibaas, UPS-i remondiks vajalike varuosade ladu, piisav arv hooldusspetsialiste, kes suudavad hädaolukorras reageerida 2–10 tunni jooksul.

Kahjuks ei võimalda töö maht hõlmata kõiki olulisi aspekte meditsiiniuasutuste toiteallikasüsteemide projekteerimisel. Põhipkilpide kaitse lühiste eest, UPS-i pidev jälgimine ja paljud muud tegurid, mis mõjutavad mistahes meditsiiniuasutuse normaalset toimimist. Paljusid selles lõputöös toodud teemasid saab kasutada ka andmekeskuste katkematute toitesüsteemide kujundamisel.

SUMMARY

Medical devices are very sensitive to the quality of the mains voltage: switching noise, parasitic voltages, etc. can cause malfunctions, and failures of expensive equipment and, most importantly, harm a patients. Undoubtedly, the use of UPS in a medical facility is necessary and even unavoidable. Using an on-line UPS is by far the most suitable option for an uninterruptible power supply. They are characterized by a time from zero to emergency mode without transient processes at the device output. Engineering is very important here and must precede the purchase and installation of UPS systems, whether it is the reconstruction of existing power supply systems or the construction of a completely new medical facility. This dissertation looked at only the most important aspects that are worth paying attention to when planning an offer to buy a UPS or creating a task. It is necessary to consider all aspects related to the use of UPSs in medical facilities:

- Calculation of short-circuit currents
- Mandatory calculation of the selectivity of protection devices from transformers to end-users.
- Mandatory calculation of protective equipment selectivity for all possible UPS operating modes.
- UPS / battery cooling during normal operation and emergency.
- The main expected loads (such as an MRI or angiograph) must be considered when selecting a UPS power supply.
- Equipment suppliers must have an on-site maintenance and repair base, a stock of spare parts needed to repair the UPS, and a sufficient number of maintenance professionals who can respond in an emergency within 2-10 hours.

Unfortunately, the scope of the work does not allow to cover all important aspects of the design of power supply systems in medical institutions. Protection of main switchboards against short circuits, constant monitoring of the UPS and many other factors that affect the normal operation of any medical facility. Many of the topics presented in this work can also be used to design uninterruptible power supply systems for data centres.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

[1] Standard EVS-HD 60364-7-710, Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 7-710: Nõuded eripaigaldistele ja -paikadele. Ravipaigad

[2] The Eaton UPS and power management, 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/backup-power-ups-surge-it-power-distribution/backup-power-ups/eaton-UPS-Fundamentals-Handbook-OR172FYA.pdf> [Kasutatud 25. 02. 2021].

[3] [Võrgumaterjal].Saadaval: [https://en.wikipedia.org/wiki/Harmonics_\(electrical_power\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Harmonics_(electrical_power)) [Kasutatud 08. 03. 2021].

[4] EUROBAT guide For the Specification of Valve Regulated Lead-Acid Stationary Cells and Batteries, [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.battery-partner.de/eurobat_guide.pdf. [Kasutatud 14. 02. 2021].

[5] SOCOMEC, Technical guide: Li-Ion battery. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://go.socomec.com/technical-guide-li-ion-battery-Modulys/EN?utm_source=socomec_com&utm_medium=referral&utm_campaign=technical_guide_li_ion_battery_modulys_country_com&utm_content=cross_selling_right_button [Kasutatud 10. 02. 2021].

[6] Product brochure Eaton Supercapacitor back up power solution, 2016. [Võrgumaterjal].Saadaval: <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/backup-power-ups-surge-it-power-distribution/backup-power-ups/eaton-93pm-ups/eaton-supercapacitors-back-up-solution-brochure-br153059en.pdf> [Kasutatud 10.02.2021].

[7] Skeleton Technologies GmbH, [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://cdn2.hubspot.net/hubfs/1188159/blog-files/170530-SkelGrid-brochure.pdf?__hstc=&__hssc=&hsCtaTracking=325c7fcd-3f62-4572-bd66-99e32caa2df9%7C829995ff-03d3-4062-8488-4faecccc508 [Kasutatud 10.02.2021].

[8] Review. A Review of Flywheel Energy Storage System Technologies and Their Applications. Mustafa E. Amiryar * and Keith R. Pullen *, [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://openaccess.city.ac.uk/id/eprint/17719/1/AmiryarandPullenA%20Review%20of%20Flywheel%20Energy%20Storage%20System_applsci-07-00286.pdf [Kasutatud 29.04.2021].

[9] The Different Types of UPS Systems, 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=SPD_SADE-5TNM3Y_EN [Kasutatud 02.03.2021].

[10] SOCOMEC, MODULYS GP - Green Power 2.0 range, MODULYS GP-Green Power. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.socomec.com/modular-ups-ultimate-range_en.html?product=/ups-modulys-gp-green-power_en.html [Kasutatud 02.03.2021].

[11] UPS paralleling with Eaton Hot Sync Technology, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.eaton.com/ca/en-gb/products/backup-power-ups-surge-it-power-distribution/ups-paralleling-with-eaton-hot-sync-technology.html>. [Kasutatud 02.02.2021].

[12] Data Center Solutions, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://avce.kz/data-centers>, [Kasutatud 02.02.2021].

[13] The Easy Capacity Test and the Eaton 9395 UPS Deliver Advances in UPS Commissioning and Load Testing, [Võrgumaterjal].
Saadaval: <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/backup-power-ups-surge-it-power-distribution/backup-power-ups/power-xpert-9395/9395/9395-resources/Easy-Capacity-est-Application-note.pdf>, [Kasutatud 11.02.2021]

[14] Product brochure, Power Xpert 9395 UPS, Energy Saver System, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/backup-power-ups-surge-it-power-distribution/backup-power-ups/power-xpert-9395/9395/9395-resources/Eaton-9395UPS-Brochure-9395FXA.pdf>, [Kasutatud 11.02.2021]

[15] Nexans EcoCalculator: Optimise energy efficiency, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.nexans.se/eservice/navigation/NavigationPage.nx?navigationId=272572>, [Kasutatud 01.05.2021]

[16] EVS-HD 60364-4-41, „Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 4-41: Kaitseviisid. Kaitse elektrilöögi eest“, <https://www.evs.ee/et/evs-hd-60364-4-41-2017-a12-2019>

[17] EVS-HD 60364-4-42, „Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 4-42: Kaitseviisid. Kaitse kuumustoime eest“, <https://www.evs.ee/et/evs-hd-60364-4-42-2011-a1-2015>

[18] EVS-HD 60364-4-43, „Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 4-43: Kaitseviisid. Liigvoolukaitse“, <https://www.evs.ee/et/evs-hd-60364-4-43-2010>

[19] EVS-HD 60364-5-56, „Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 5-56: Elektriseadmete valik ja paigaldamine. Turvasüsteemid“ <https://www.evs.ee/et/evs-hd-60364-5-56-2019>

LISAD

LISA 1


Pea- ja UPS-i-kilbid ning kõik sissetulevate ja väljuvate UPS-i kilpide toitekaablid peavad olema varustatud vähemalt 30% reserviga. Põhikilpidel peavad lisaks nimivoolu reservile olema tingimata ka reservväljundid. Üleliigsed väljapääsud peaksid olema varustatud kas automaatlülititega või pistik- või vankermaandumisalustega.

Erinevatele tööstusharudele kaableid tootev firma Nexansi lihtne majanduskalkulaator näitab, et järgmise kaablisuuruse valimisel. 3*120/70 ristlõikega vaskkaabli kandevõime õhus on umbes 280 A. Kui projekteerimisel valida kaabli kandevõime väikese reserviga, näiteks 240A, siis järgmise suurema ristlõikega kaabli valimisel (3*150/70) tasub viimase suurem hind ära umbes 12 aastaga. Arvutustes on võetud kilovatt-tunni maksumuseks on 0,1 EUR. Kilovatt-tunni hinnaga 0,15 EUR on 3*150/70 mm² ristlõikega kaabli tasuvusaeg juba vaid umbes 8 aastat.

PRODUCTS

▼ ECOCALCULATOR

Eco-calculator



Your Selection: 0054095 FXQJ EMC 1 kv 3X120/70

Intensity (A): Voltage:

Length (m): Average lifetime:

Operating activity (%): Discount (%):

kWh price (SEK):

Show advanced parameters

Eco-Calculator for cables

Please note that all fields are mandatory to perform the calculation

Show details of calculation

Back to product list

print

Our alternatives :

Cable type	FXQJ EMC 1 kv 3X150/70
Savings per year	2800 kWh 2,800 SEK 313 kg equivalent CO2
Payback	
Profit	121,084 SEK
Payback time	12.1 Years

Nexans'i kalkulaator [15]