

3 Madalpingevõrgud

Elektrit tarbitakse valdavalt madalpingel. Kuigi jaotusvõrkude ehituse ja käidu probleemid seonduvad enamasti kõrgepingega, peavad ala spetsialistid tundma ka madalpingevõrkude ja -paigaldiste ehitust ja talitlemist.

3.1 Elektrivarustus madalpingel

Madalpingeseadmeid kasutavad tavalised inimesed, mitte vajaliku ettevalmistuse saanud elektrilaisikud nagu kõrgepingeseadmete korral. Seetõttu tuleb madalpingevõrkude ja -seadmete puhul nende talitlusküsimuste kõrval erilist tähelepanu pöörata inimeste kaitsele elektrilöökidest eest.

3.1.1 Põhimõisted

Selleks et aru saada elektrivõrgu ja sellega ühenduses olevate seadmete ehitusest ja toimimisest, tuleb esmalt selgitada mõisteid. Olulisemad mõisted ja nõuded on fikseeritud standardites ja muudes normdokumentides, mistõttu neid tuleb järgida ja täita. Allpool on toodud rida mõisteid, mille sisu täpsustatakse ja täiendatakse materjali esitamise käigus.

3.1.1.1 Seadmed ja paigaldised

Elektriseadmed on ette nähtud elektrenergia tootmiseks, muundamiseks, edastamiseks, jaotamiseks või kasutamiseks. Seadmete kogumi korral, kuhu kuuluvad näiteks trafod, lülitusaparaadid, mooteriistad, kaitseadmed, kaablid ja elektritarvitid, on tegemist **elektriseadmetistikuga**. Kindla otstarbega seadmetistik koos ehitusliku osaga moodustab **elektripaigaldise**. Elektriohutuse ja käiduga seonduvalt eristatakse teisaldatavaid, kohtkindlaid (statsionaarseid) seadmeid ning kohtkindlalt kinnitatud seadmeid.

Seadmete hulka kuuluvad ka **juhid** ja **juhistikusüsteemid** ehk **juhistikud**, mille all mõeldakse ühe või mitme kaabli, juhtme, lattliini ning nende juurde kuuluvate kinnitus- ja kaitseosade kogumit. **Liin** on üht või mitut vooluahelat sisaldav terviklik elektriedastuspaigaldis. Liini kuuluvad ka kinnitus-, kande-, isoleerimis-, kaitse- jm vahendid.

Juht on elektrenergia või elektrilise signaali edastamiseks ette nähtud juhtmete, kaablite ja lattide üldnimetus. Mõni juht võib sisaldada mitu osajuhti ehk **soont**. Lähedane mõiste on **juhe**, mille all mõeldakse suhteliselt kergesti painduvat juhti. Juht, mis osaleb elektrenergia edastamises, on **tööjuht**. Vahelduvvooluahelates kuuluvad tööjuhtide hulka **faasijuhid** (tähisted $L1$, $L2$, $L3$) ja **neutraaljuht** (N), alalisvooluahelates **poolusejuhid** ($L-$, $L+$) ja **keskjuht** (M). Faasi- ja poolusejuhi tähis L tuleneb ingliskeelsest sõnast *live* (pingestatud),

alalisvooluahela keskjuhi tähis *M* sõnast *middle* (keskmine). Faasi ja poolusejuhi ühisnimetuseks on **äärejuht**.

Elektripaigaldis on üksteisega ühendatud elektriseadmete ja -juhtide teatud otstarbega ja kokkusobitatud tunnussuurustega paigaldatud kogum. Paigaldise koosseisu kuulub ka ehituslik osa (paigaldus-, kande- ja piirdetarindid, seadmete alused, vundamendid). Paigaldisi liigitatakse **tarbijapaigaldisteks, tugevvoolu- ja nõrkvoolupaigaldisteks, sise- ja välispaigaldisteks**.

Koht, milles elektrienergia siseneb paigaldisse ehk teisiti koht, milles paigaldis liitub elektritoiteallikaga (nt toitevõrguga), on **toitepunkt**. Elektripaigaldisel võib olla üks või mitu toitepunkti. Lähedane mõiste on **liitumispunkt** – elektripaigaldise täpselt määratud ühenduskoht võrguga, millega seondub võrgu kasutaja ja võrguettevõtja vaheline vastutus ja elektripaigaldiste teeninduspiir. Kasutusel on veel mõiste **mõõtepunkt**, mis võib olla sama kui **hankepunkt** – elektrivõrgu punkt, kus subjekt saab võimsuse tarnijalt elektrienergiat. Nimetatud punktide täpsemal määramisel tuleb tähele panna, kas tegemist on tehniliste (sh mõõtmine ja kaitse), teenindamise või kommertsküsimustega.

Jaotla on enamasti omaette ruumina kujundatud või kindlalt piiritletud pinnal paiknev elektriliste jaotus- ja lülitusseadmete kompleks koos juhistiku, lisa-seadmete, ümbriste ja ehitustarinditega. Jaotla üheks liigiks on **jaotuskeskus**, kuhu siseneb paigaldise üks või mitu toiteliini ja millest väljuvad üksikseadmete toiteliinid. Suhteliselt lihtsa ehitusega jaotuskeskust nimetatakse ka **jaotuspunktiks**. Jaotlat, millesse siseneb **peatoiteliin**, nimetatakse **peajaotuskeskuseks**. Vaadeldakse veel **rühmakeeskust, vahekeskust** jm.

Elektriruum on ruum, mis on ette nähtud eeskätt või ainult elektriseadmete teenindamiseks ja kuhu võivad pääseda ainult piisavalt pädevad (kutseoskusega või instrueeritud) töötajad. Elektriruumide hulka kuuluvad näiteks elektrimasinaruumid, alajaamaruumid, akuruumid. Kõrvalistele isikutele sissepääsu tõkestamiseks on elektriruumid enamasti lukustatud.

3.1.1.2 Maandamine

Maa on juhtiv aine, mille potentsiaal on mis tahes punktis kokkuleppeliselt null. Seadme või selle osa galvaanilist ühendamist maaga maandusjuhtide ja -elektroodide abil nimetatakse **maandamiseks** ehk **maanduseks**. Maandamist võib olla vaja elektriohutuse tagamiseks (**kaitsemaandus**) või elektriseadmete normaalseks talitlemiseks (**talitusmaandus**). Talitusmaandamisel võidakse maandatav osa ühendada maaga ilma lisatakistusega (**vahetu** ehk **jäikmaandus**) või üle lisatakistuse (**takistusmaandus**). **Maanduri** ehk **maanduselektroodi** moodustab juhtiv osa või nende kogum, mis on otseses kokkupuutes maaga. Maandurist, maandusjuhtidest ja peamaanduslatist või -klemmist koosnev kompleks moodustab **maanduspaigaldise**.

Maandurit ümbritseva maa osa, milles läbi maanduri maasse valguv vool kutsutakse esile potentsiaalierinevusi maa eri punktide vahel, nimetatakse **valgumisalaks**. Valgumisala ümbritsev maa-ala, mille potentsiaal jääb nulliks, on **nullpotentsiaaliala**. Peamaanduslatti või -klemmi ja maa vahelist takistust nimetatakse **maandustakistuseks**, maanduri ja maa nullpotentsiaaliala vahelist takistust aga **valgumistakistuseks**. Maandurid on sõltumatud, kui need paiknevad üksteisest sedavõrd kaugel, et ühe maanduri suurim võimalik vool ei mõjuta oluliselt teiste maandurite potentsiaale. Sõltumatute maandurite valgumisalad ei kattu, nende vahel on nullpotentsiaaliala

Juhti, mida vajatakse elektrilöögiõhu vältimiseks ja mis ühendab omavahel juhtivaid osi – peamaanduslatti, maandureid ja toiteallika neutraalpunkti, nimetatakse **kaitsejuhiks** (*protective earth, PE*). Kaitsejuht, mis ühendab peamaanduslatti või -klemmi maanduriga, on **maandusjuht**. Maandatud juht, mis toimib korraga nii kaitse- kui ka neutraaljuhina, on **PEN-juht**. **Potentsiaaliühendus** on elektriline ühendus, mis võrdsustab eri elektriseadmete pingeltide ja kõrvaliste juhtivate osade potentsiaali. Pingealdis juhtiv osa on elektriseadme juhtiv puutevõimalik osa, mis normaalselt ei ole pingestatud, kuid võib pingestuda isolatsioonirikke tagajärjel.

3.1.1.3 Voolud

Vooluahel on paigaldise elektriseadmetest moodustatud kogum, mida toidetakse ühest ja samast punktist ja millel on ühine liigvoolukaitse. Vooluahel võib sisaldada tööjuhte, kaitsejuhte, lülitus- ja juhtimisaparaate jm elemente. Vooluahel, mis sisaldab elektrienergia tootmis-, muundamis-, jaotamis-, lülitamis- või tarbimisseadmeid, on **peavooluahel**. Juhtimis-, blokeerimis-, signalisatsiooni-, mõõte- vms lisaotstarbelist vooluahelat nimetatakse **abivooluahelaks**. Varem kasutusel olnud termin sekundaarvooluahel ei ole soovitatav, sest selle all võib mõista trafo sekundaarahelat. Vooluahelat (liini), mis toidab rühmakeskust, nimetatakse **jaotusvooluahelaks** ehk **jaotusliiniks**. Vastavalt on **lõppvooluahel** ehk **tarvitiin** vahetult tarvitit või pistikupesaga toitev vooluahel. **Rikkeseilmuseks** nimetatakse toiteallika faasimähisest, töö- ja kaitsejuhist, maanduspaigaldisest ning maast koosnevat vooluahela osa kuni lühise (ka kere- või maahenduse) kohani.

Vool, millele vooluahel normaaltalitusel on ette nähtud, on **arvutuslik vool** ehk **normaaltalitusvool**. Koormuse muutuse korral loetakse arvutuslikuks vooluks soojuslikult samaväärset kestavoolu, mille puhul juhi temperatuur või isolatsiooni tööiga võrdub arvutuslikuga. Sellise voolu rahvusvaheline tähis on I_B . Suurimat voolu, millega võib juhti etteantud oludes kehtvalt koormata, ilma et juhi temperatuur ületaks kehtvalt lubatud väärtust, nimetatakse **kehtvalt lubatud vooluks**, mille rahvusvaheline tähis on I_Z . Juhi kehtvalt lubatud voolust ohtlikult suuremat voolu nimetatakse **liigvooluks**. Olenevalt väärtusest või kestusest võib liigvoolul olla või mitte olla ohtlikke tagajärgi. Liigvoolu võib

põhjustada elektritarvitite liigkoormus või elektrihaelate rikked, nagu lühised ja maaühendused. Liigkoormusest tulenev liigvool on **liigkoormusvool**. Väikest ja ohutut liigkoormusvoolu võib nimetada **ülekoormusvooluks**. **Lühisvoolu** tekitab väikese või olematu takistusega ebanormaalne ühendus selliste pingestatunud osade vahel, mille potentsiaalid normaaltingimustel on erisugused. Lühisvoolu lülitab välja kaitseseade. **Tingrakendusvool** on voolu väärtus, mille puhul kaitseseade rakendub ettenähtud aja jooksul.

3.1.1.4 Pinged

Iga seade (elektripaigaldis) on ette nähtud töötama teatud pingel. Pinget, millega seadet, iseloomustatakse, nimetatakse **nimipingeks**. Vahelduvpingel väljendatakse nimipinget tavaliselt pinge efektiivväärtusega. Nimipinge ei määra täpsemalt kindlaks seadme töötingimusi, näiteks lubatud pinge kõrvalekaldeid jm. Pingepiirkonda, milles faasidevaheline nimivahelduvpinge on üle 1000 V või mille poolustevaheline nimialalispinge on üle 1500 V, nimetatakse **kõrgepingeks**. Sellest madalam on **madalpinge**. Kõrgepingepiirkonna alumises osas, kus faasidevaheline pinge on enamalt 40 kV, kasutatakse ka mõistet **keskpinge**. Kui pinge on madalam, kui 50 V (vahelduvvool) või 120 V (alalisvool), siis on tegemist **väikepingega** (*extra-low voltage, ELV*). Kasutusotstarbe järgi eristatakse kaitseväikepinget ja talitusväikepinget. Pinge, mis on sedavõrd madal, et tema toimel inimese keha läbiv vool ei kutsu esile elektrilööki, on **kaitseväikepinge**. **Talitusväikepinge** (*functional extra-low voltage FELV*) on vajalik teatavate elektriseadmete normaalseks talitlemiseks. Talitusväikepingeallikad ei pruugi rahuldada kõiki kaitseväikepingeallikatele esitatud ohutusnõudeid – kaitseväikepinge saadakse eraldustrafost või muust turvalisest pingeallikast. Kaitseväikepingeahel võib olla maandatud (*protective extra-low voltage, PELV*) või maandamata (*safety extra-low voltage, SELV*).

Tegelik pinge võib nimipingest teatud pingehälbe võrra erineda. Kestvalt, lühiajaliselt või mingi esinemissagedusega lubatud pingehälbe korral on tegemist kas **ülepingega** või **alapingega**. Kui pingehälve on lubatust suurem pinge tõusu suunas, on tegemist **liigpingega**. Tekkepõhjuste järgi eristatakse lülitus-, rikke-, indutseeritud, äikese- jm liigpingeid. Elektriseadmeid (paigaldisi) liigitatakse nelja **liigpingeklassi** vastavalt võimele taluda teatud tunnussuurustega (amplituudiga, kestusega, impulsikujuga) liigpinge toimet. Elektriseadmete liigitust liigpingeklassi ja paigaldustingimuste alusel täpsustab **paigaldusklass**.

3.1.1.5 Elektrilöök

Kui inimene või loom puutub vastu pingestatunud osi, võib ta saada kahjuliku toimega (patofüsioloogilise) **elektrilöögi**. Olenevalt sellest, kas puutekoht oli pingestatunud normaalselt või rikke tõttu, on tegemist **otsepuutega** või **kaudpuutega**. Normaalitalitlustel vooluahelasse kuuluvat juhti nimetatakse **pingestatunud osaks**. Puutevõimalik osa, mis normaalselt ei ole pingestatunud, kuid

võib saada selliseks isolatsioonirikke korral, on **pingealdis juhtiv osa**. Elektripaigaldisse mittekuuluv osa (ehitise metalltarindid, juhtivad torustikud ning põrandad ja seinad), mis võib elektrilist, enamasti maa potentsiaali edasi kanda, nimetatakse **kõrvaliseks juhtivaks osaks**.

Isolatsiooni rikkeline seisund tähendab **isolatsiooniriket**, mis ei tähenda veel soovimatut juhtivat ühendust. Isolatsioonirikkel tekkiv **rikkevool** ei pruugi põhjustada seadmete olulisi talitlushäireid, kuid võib esile kutsuda elektrilöögi- ja tulekahju. Normaaltalitusel paigaldisest maasse või kõrvalistesse juhtivatesse osadesse suunduv vool, mis võib olla ka mahtuvuslik, on **lekkevool**. Inimese või looma keha läbivat kahjuliku toimega voolu nimetatakse **elektrilöögi-vooluks**. Juhtiv ühendus elektripaigaldise pingestatud ja pingelti osa (nt kere) vahel on **kereühendus** ning maa või maaga ühendatud osa vahel **maaiühendus**. Juhtiv ühendus eri pingega juhtide vahel on **lühis**. Kui lühisekoha takistus on sedavõrd väike, et selle võib lugeda nulliks, on tegemist **metallilise lühisega**. Isolatsioonirikke korral kahe ühel ajal puudutatava osa vahel tekkida võivat pinget nimetatakse **puutepingeks**. Elektriseadmeid liigitatakse puutepingekaitse järgi 0, I, II ja III **kaitseklassi** (või **elektriohutusklassi**) sõltuvalt isolatsioonist ning kaitsejuhi ja kaitsevääkepinge kasutamisest (p 3.1.4).

Kaitse elektrilöögi eest võib saavutada ohtliku puutepinge tekkimise või püsijäämise vältimisega ning pingestatud osade puudutamise takistamisega. Tehakse vahet **otsepuute-** ja **kaudpuutekaitse** vahel. Kasutatakse kaitsekesti, -katteid ja -tõkkeid, kaitselahutust ja -eraldust, maandamist, paigutamist väljapoole puuteküündivust, isoleertöövahendeid, kaitsevääkepinget, potentsiaaliühtlustust ja isoleerümbrust. Elektrilöögivastase põhikaitse tagab **põhiisolatsioon**. Kui põhiisolatsiooniga või põhi- ja lisaisolatsiooni koostoimel saavutatakse sedavõrd kindel isolatsioon, et selle läbilöögi või ülelöögi tõenäosus ei ületa elektriohutusnõuetega sätestatud väärtust, on tegemist **kaitseisolatsiooniga**. **Kaitseeraldus** on vooluahela töökindel, enamasti kaitseisolatsiooni abil saavutatav galvaaniline eraldamine muudest vooluahelatest. Kaitseeraldus realiseeritakse **kaitsetrafode** abil, kusjuures kaitseeraldatud ahelat ei maandata.

Puuteküündivus on kaugus, milleni inimene küünib ilma abivahendita oma tavalisest asukohast käega. Väliskeskkonna toime eest, aga ka pingestatud osade otsepuute eest kaitseb seadet (**kaitse**)kest. Osa, mis kaitseb igast harilikust ligipääsusuunast tuleva otsepuute eest, on (**kaitse**)kate. Osa, mis takistab juhuslikku, kuid mitte tahtlikku otsepuudet, on (**kaitse**)tõke. Kestadel võib olla erinev **kaitseaste**. Kaitseastme rahvusvaheliselt kokkulepitud tähis koosneb tähtedest *IP (international protection)* ja nendele järgnevast kahest tunnusnumbrist, millele võidakse lisada veel kaks selgitustähte. Kaitseastme tähistusvariante vaadeldakse punktis 3.1.4.

3.1.1.6 Toimingud

Kaitselahutamine on toiming, mille abil elektriohutus tagatakse paigaldise või selle osa turvalise lahutamise teel kõigist toiteallikatest. Kaitselahutamine peab tagama töötajate ohutuse enne remonditöid, veaotsingule või seadmete asendamisele asumist ning nende tööde ajal. **Kaitselahutusseadmeks** on elektriaparaat (nt lahküliti) või muu abielement. Kui seade lülitatakse välja vaid mehaaniliste osade hooldetööde ajaks, mis ei pruugi vältida elektrilööki, on tegemist **hooldevaljalülitamisega**. **Hädaväljalülitamisega** püütakse kiiresti lõpetada ootamatut olukorda. Kui eesmärgiks on seadme ohtlikuks muutunud liikumise peatamine, on tegemist **hädaseiskamisega**. Lülitusi normaaltalitluse ajal nimetatakse **talitluslülitusteks**.

Selleks et kindlaks teha, kas valminud elektripaigaldis vastab nõuetele, tehakse **kasutuselevõtu kontroll**, mis sisaldab visuaalset ülevaatus- ning **katsetamist** (**testimist**). Katsetamine võib sisaldada **proovimist**, **kontrollmõõtmist** ja **teimimist**. Proovimine seisneb seadme talitlemise kontrollis mõõtmisi kasutamata. Teim on katsetustoiming, mis seisneb teatava, enamasti seadme mingi tunnussuuruse nimiväärtust ületava füüsilise suuruse (nt teimipinge) rakendamises.

3.1.2 Juhistikusüsteemid

Juhistikeks nimetatakse juhtide (juhtmed, kaablid, latid) omavahel kokkuühendatud kogumit. Juhistiku töökindlus, häirekindlus, ohutusmeetmete ja kaitseaparatuuri valik sõltuvad suurel määral talitlusmaandusest ja elektriohutusmeetmetest, mida rakendatakse kaugpuute puhul. Allpool vaadeldakse kolmefaasilisi madalpingelisi (kuni 1000 V) tugevvooljuhistikke, mille erinevus üksteisest seisneb ühendustes maaga ja kaudpuutekaitse põhimõtetes.

3.1.2.1 IEC-juhistikusüsteemid

Madalpingevõrkude juhistikusüsteemide liigitus ja juhtide tähised on määratud rahvusvahelises standardis IEC 60364-3, mis kehtib ka Eestis. Süsteemid erinevad üksteisest selle poolest, kas juhistik on maandatud või mitte ja kas juhistiku juurde kuuluvad pingealtid osad (metalloosad, mis isolatsioonirikke korral võivad sattuda pinge alla) on maandatud kohapeal või ühendatud kaitsejuhi kaudu juhistiku talitlusmaandusega. Süsteeme eristatakse kahetähelise tähisega, millest esimene on toiteallika ja maa vahekorra tähis *I* (pr *isolé*, isoleeritud) või *T* (pr *terre*, maa) ning teisel kohal pingealtide osade kaitsejuhi ühendamiseviisi tähis *T* või *N* (pr *neutre*, neutraal). Praktiliselt esinevad juhistikusüsteemid *IT*, *TT* ja *TN*. Viimase puhul on võimalikud veel kolm alajuhtumit:

TN-C – neutraal- ja kaitsejuht on ühitatud (pr *combiné*, kombineeritud)

TN-S – neutraal- ja kaitsejuht on teineteisest eraldatud (pr *separe*, eraldatud)

TN-C-S – neutraal- ja kaitsejuht on toiteallikapoolses võrguosas ühitatud, tarvitipoolses osas aga teineteisest eraldatud.

Välja on kujunenud ka järgmised juhtide tähised:

L1, L2 ja *L3* (ingl *live*, pingestatud) – faasijuhid

E (ingl *earth*, maa) – maandusjuht

N (ingl *neutral*, neutraal) – neutraaljuht

P (ingl *protection*, kaitse) – kaitsejuht.

Kui juht täidab mitut ülesannet, on tema tähises vastavalt mitu tähte:

PE – kaitsemaandusjuht

PEN – ühitatud kaitsemaandus- ning neutraaljuht (*PEN*-juht).

Juhtide uute nimetuste ja tähistega kadusid eesti keelest oskussõnad nulljuht, nullpunkt ja nullimine. Ühefaasilistel seadmetel, kui need ei ole ette nähtud ühendamiseks mingi kindla faasiga, tähistatakse faasijuhte tähega *L*.

Neutraal- ja kaitsejuhtide graafiliseks tähistamiseks, kui see selguse huvides on vajalik, näeb Eesti standard EVS-EN 60617-11 ette järgmised märgid:

— / — neutraaljuht (*N*)

— / — kaitsejuht (*PE*)

— / — ühitatud kaitse ja neutraaljuht (*PEN*).


Et juhte saaks paigaldus- ja remonditöödel ka värvi järgi eristada, on juhtide isolatsioonil järgmised tunnusvärvid:

faasijuhid (*L1, L2, L3*) – pruun, must või hall

neutraaljuht (*N*) – helesinine

kaitsejuht (*PE* või *PEN*) – koll-rohelise triibuline.

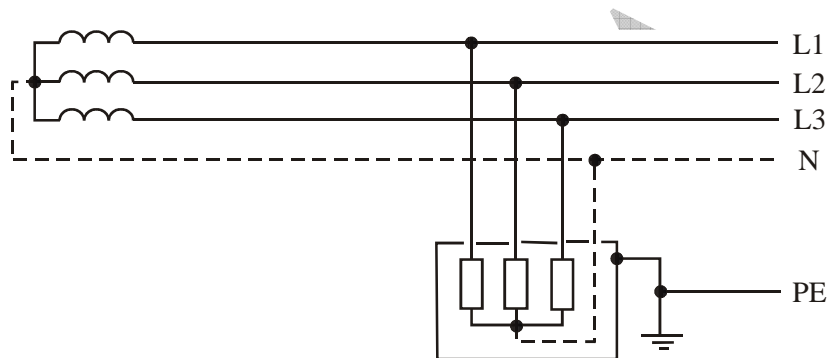
PEN-juht markeeritakse otstes helesinise lisamärgistusega. Varem on kasutatud ka teistsuguseid tähiseid, nagu faasijuhtide tähised *A, B* ja *C* või *R, S* ja *T* ning neutraal- ja kaitsejuhi tähis *0*. Maandamata neutraaljuhte on varem tähistatud valge, maandatud neutraaljuhte ja kaitsemaandusjuhte aga musta tunnusvärviga.

Paigaldiste pingevald osad maandatakse kaitsejuhi kaudu. Kaitsejuhi ühenduskohta pingevalti osaga tähistatakse kaitsemaanduse sümboliga .

Et vältida ohtliku pinge teket pingevaltide ja kõrvaliste juhtivate osade (ehitustarindite, torustike) vahel, tuleb ka need ühendada kohapealse (tarbijapaigaldise) maandussüsteemiga ning kaitsejuhiga. Seda võtet nimetatakse **potentsiaaliühthlustuseks** ja see kuulub tähtsamate elektriohutust tagavate lisakaitseviiside hulka. Ehitiste elektrisisendites on ette nähtud peapotentsiaaliühthlustus vastava klemmi või klemmlati abil, millega ühendatakse kaitsejuht, maandusjuht, kaablite metallmantlid, torustikud, ehitiste metallosad ja terasbetoonitarindite armatuur. Suurtes ehitistes, kus peapotentsiaaliühthlustuse abil on raske haarata kõiki pingevalteid ja kõrvalisi juhtivaid osi, kasutatakse veel lisapotentsiaaliühthlustust.

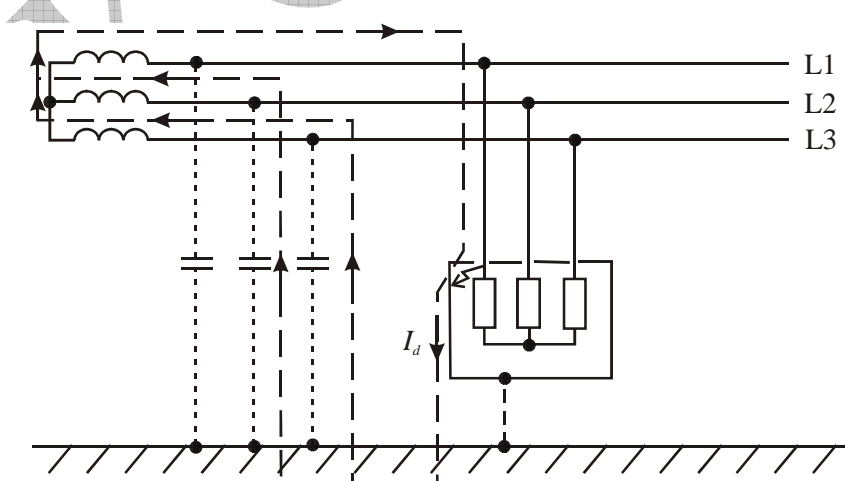
3.1.2.2 IT-juhistik

See vanim juhistikusüsteem on enamasti täielikult maast isoleeritud (joonis 3.1), kuid liigpingete ja pingevõnkumiste vähendamiseks võidakse kasutada ka neutraali või (kui neutraal ei ole kättesaadav) ühe faasijuhi maandamist üle suure takisti. *IT*-süsteem soovitatakse kujundada kolmejuhilisena, kuid see võib olla ka neljajuhiline (neutraaljuhiga). Eestis on *IT*-juhistik kasutusel mõnes vanemas madalpingevõrgus neutraaljuhita ($3 \times 220 \text{ V}$) ja maast isoleerituna. *IT*-juhistikust toidetavate elektritarvitite keresid võib maandada igäüht eraldi, grupiviisiliselt või kogu paigaldise jaoks ühise kaitsejuhi kaudu. Kindlaim ja levinuim on viimane variant.



Joonis 3.1 IT-juhistik

IT-juhistiku põhieelis *TT*- ja *TN*-juhistike ees seisneb selles, et ühe faasi maa- või kereühenduse korral (joonis 3.2) on maaühendusvool määratud teiste faaside mahtuvusega maa suhtes ja jääb mõne kuni mõnesaja milliampri piiridesse. Selline vool ei häiri enamasti elektritarvitite talitlust ega nõua seetõttu ka kahjustatud liini või tarviti viivitamatut väljalülitamist. See suurendab elektrivarustuse töökindlust.



Joonis 3.2 Kereühendus neutraalita IT-juhistikus

Kuna maaühenduse korral tõuseb kahe faasijuhi pinge maa suhtes faasidevahelise pingeni, peab kõigi juhtide isolatsioon maa suhtes olema valitud faasidevahelisele pingele. See tähendab, et näiteks pingel 230/400 V ei saa *IT*-juhistikus kasutada pingele 250 V ettenähtud isoleerjuhtmeid ega kaableid.

Et tagada elektriohutust *IT*-juhistiku maaühenduse korral, ei tohi pinge alla satunud pingeltide osade puutepinge minna üle 50 V. Seega tuleb täita tingimus

$$R_A I_d \leq 50 \text{ V}$$

kus R_A – paigaldise maandustakistus (indeks A tuleneb saksakeelsest sõnast *Anlage*, paigaldis)

I_d – maaühendusvool (indeks d tuleneb prantsuskeelsest sõnast *defaut*, rike).

Kui maaühendusvool ei ole üle 1 A, võib kaitsemaandustakistus olla kuni 50 Ω . Taolistel juhtudel ongi tavaliselt kasutatud maandustakistust 10...30 Ω , mis võimaldab maanduse välja ehitada suhteliselt odavalt. Kui maaühenduskoahas on rikkevool üle 0,3 A, võib seal tekkida tuleoht. Tulekahju vältimiseks võidakse tuleohtlike paigaldiste elektriahelais kasutada rikkevoolukaitset standardse rakendusvooluga 300 mA.

Kahe samaaegse maaühenduse korral, mis on võrdväärne kahefaasilise lühisega, on pingeltide osade puutepinge tavaliselt 0,2...0,8 võrgu nimipingest. Kuna selline puutepinge on ohtlik, tuleb rikkekoht kiiresti välja lülitada, mis elektritarvitite tüübist ja muudest tingimustest sõltuvalt võtab aega 1...5 s. Et seda tagada, peab rikkesilmuse (toitetrast, kahest faasijuhist, kaitsejuhist ja kahest maandurist koosneva silmuse) näivtakistus jääma piiridesse

$$Z_s \leq U_n / I_a$$

kus U_n – nimipinge

I_a – vool, mille puhul liigvoolukaitse kindlalt rakendub.

Selle tingimuse täitmiseks peavad maandustakistused olema 4...10 Ω . Kui rikkesilmus sisaldab kaht maandustakistust, mis on võimalik, kui elektritarvitid on maandatud eraldi või rühmadena, siis võib selle kogutakistus olla sedavõrd suur, et liigvoolukaitse ei rakendu. Seetõttu eelistatakse *IT*-juhistikes maandamist ühise kaitsejuhi kaudu. Sel juhul koosneb rikkesilmus toitetrasto, faasijuhi ja kaitsejuhi takistusest ega sõltu maandustakistusest. Silmuse näivtakistus peab rahuldama tingimust

$$Z_s \leq U_n / (2I_a)$$

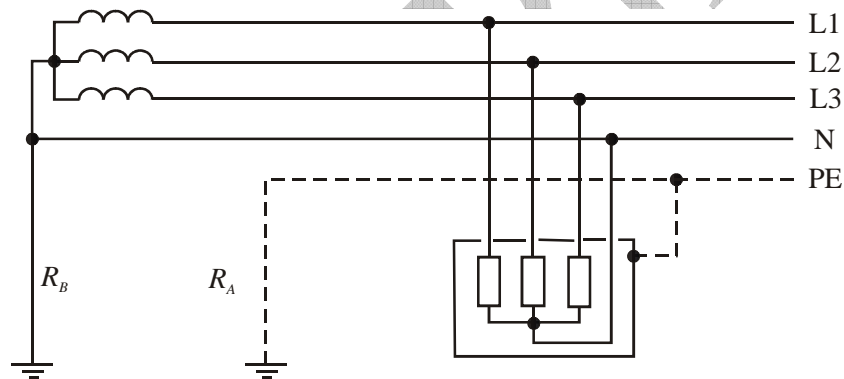
mis ei tekita raskusi.

Neutraaljuhita, maast isoleeritud *IT*-juhistikus ei saa juhistiku enda rikete tõttu tekkida ajutisi liigpingeid. Liigpinged võivad siiski tekkida võrgu toitealajaama ülempingepoole maaühendusel. Juhtumil, mil *IT*-juhistikus on kõrvaldamata maaühendus, on liigpinged oluliselt suuremad, kuigi mitte nii suured, kui teiste juhistike korral.

Et maaihenduse teket kohe kindlaks teha, tuleb *IT*-juhistik varustada signalisatsiooni- ja mõõteseadmega. Selline seade kontrollib võrgu isolatsiooni takistust ning annab heli- ja valgussignaale maaihenduse tekkimisel või isolatsiooni takistuse vähenemisel alla lubatud väärtuse, milleks enamasti on 15...250 kΩ. *IT*-süsteemi töökindluse eelised ilmnevadki ainult siis, kui selles kasutatakse nüüdisaegseid isolatsiooni korrasoleku järelevalve- ja mõõteaparatuuri.

3.1.2.3 TT-juhistik

Selles juhistikus (joonis 3.3) on neutraaljuht toiteallika juures maandatud, kuid seda ei kasutata kaitsejuhina. Tegemist on talitusmaandusega, mis peab tagama, et faasijuhtide pinge maa suhtes nii normaaltalitusel kui rikete korral ei oleks üle faasipinge. Kui toiteallika neutraal ei ole kättesaadav, võidakse selle asemel maandada üks faasijuhtidest. Talitusmaandustakistus R_B pole normitud, kuid tavaliselt ei ole see üle 100 Ω. Elektritarvitite kered ja muud paigaldise pingeltid osad maandatakse kaitsejuhi abil, mis on ühendatud kohaliku kaitsemaandusega.



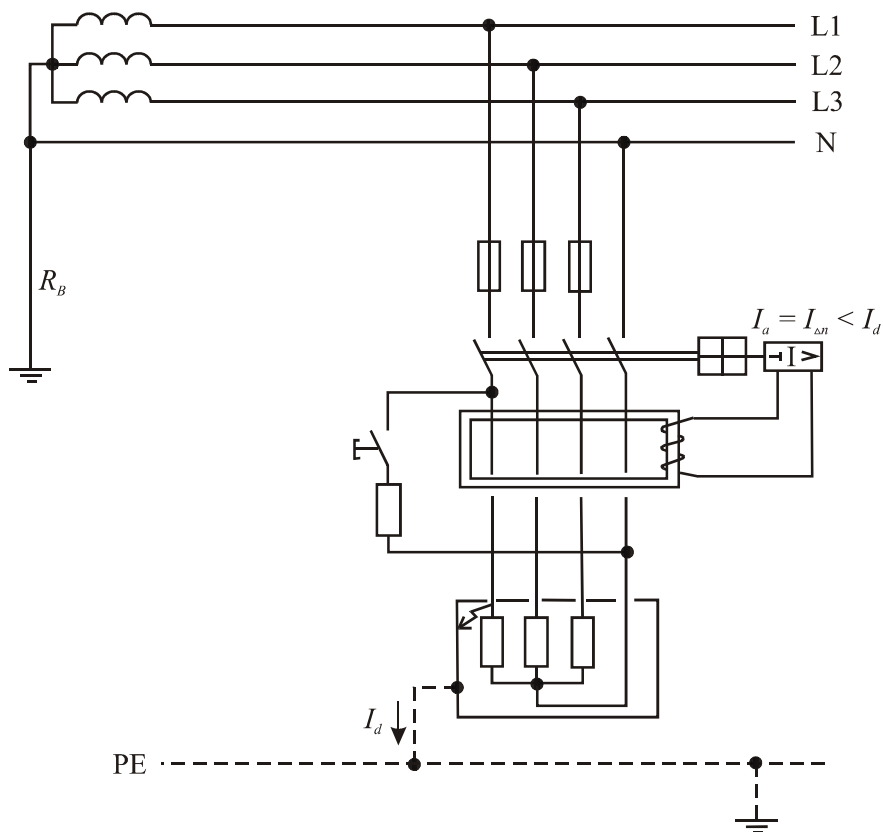
Joonis 3.3 TT-juhistik

Maaihendusvool on *TT*-juhistikus määratud toiteallika talitusmaanduse ja tarbijapaigaldise kaitsemaanduse takistuste summaga ning on suurem kui *IT*-juhistiku korral. Elektriohutuse tagamiseks ei tohi pinge alla sattunud pingeltide osade puutepinge olla üle 50 V, mistõttu on vajalik, et

$$R_A I_a \leq 50 \text{ V}$$

Siin on R_A kaitsejuhi ja maanduse kogutakistus ning I_a vool, mille puhul kaitseaparaat etteantud aja (enamasti 5 s) jooksul kindlalt välja lülitub.

TT-juhistikus on maaihendusvool sedavõrd väike, et liigvoolukaitse enamasti ei rakendu. Kui näiteks talitusmaanduse takistus on 100 Ω, ei saa maaihendusvool kuidagi tõusta üle 5 A. Seetõttu tuleb lisaks liigvoolukaitsele kasutada rikkevoolukaitselülitit (joonis 3.4), mille nimirakendusvoolu $I_{\Delta n}$ (enamasti 30...500 mA) võib valida kaitsemaandustakistuse järgi.



Joonis 3.4 Rikkevoolukaitse kasutamine TT-juhistikus

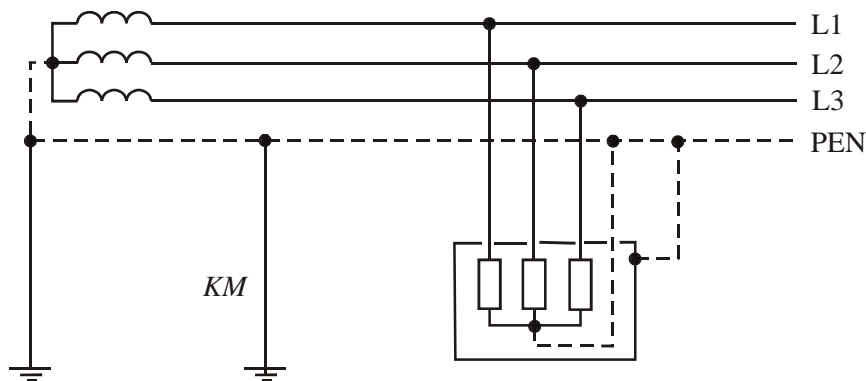
Maanduse väljaehitamine *TT*-juhistikus ei tekita suhteliselt suure lubatud takistuse tõttu raskusi. Ka rikkevoolukaitse rakendumisaeg, mis vastavate tootestandardite kohaselt on enamalt 0,2 s, rahuldab elektriohutusnõudeid.

Ajutised liigpinged võivad *TT*-juhistikus tekkida neutraaljuhi katkemisel. Olenevalt faaside koormusjaotusest võib ühe faasi pinge tõusta kuni faasidevahelise pingeni (suureneda 1,73 korda). Toitealajaama ülempingepoole maaühenduse korral võivad ajutised liigpinged sattuda madalpingetarbijateni neutraaljuhi kaudu ja on suuremad kui *IT*-juhistikus, kuid siiski väiksemad kui *TN*-juhistikus, sest neid vähendab toiteallika neutraali ja tarbija elektripaigaldise pingeltide osade eraldi maandamine.

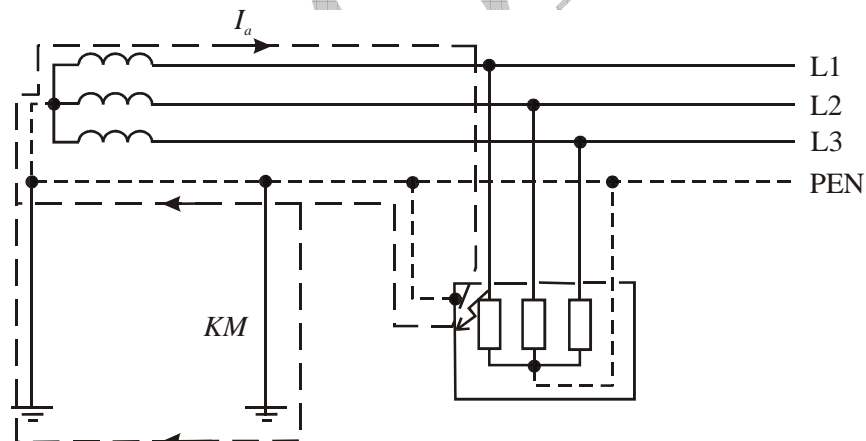
TT-juhistike suurim eelis teiste juhistike ees seisneb kõrges elektriohutusastmes, kuna maaühenduskaitseks kasutatakse rikkevoolukaitseühiliteid. Puutepinge on *TT*-juhistikus kõrgem kui *TN*-juhistikus ja võib küündida faasidevahelise pingeni. Eestis ei ole *TT*-juhistikud peaaegu üldse kasutust leidnud. Mingil määral on neid esinenud kaevandustes.

3.1.2.4 TN-C-juhistik

TN-C-juhistikus talitleb neutraaljuht nii töö- kui kaitsejuhina ja seda nimetatakse **PEN-juhiks** (joonis 3.5), kus *KM* tähistab kordusmaandust. Iga kereühendus on ühefaasiline lühis (joonis 3.6) ja toob kaasa liigvoolukaitse rakendamise. Kuni kaitse rakendumiseni on pinge elektriseadme kere ja maa vahel võrdne lühisvoolust tingitud pingelanguga PEN-juhis. Kui lugeda PEN-juhi ja faasijuhi takistus ligikaudu ühesuguseks, on pinge maa suhtes ligikaudu pool juhistiku faasipingest.



Joonis 3.5 TN-C-juhistik



Joonis 3.6 Kereühendus TN-C-juhistiku korral

Elektrilöögiohu vähendamiseks peab kaitse rakenduma võimalikult kiiresti. Näiteks kui juhistiku nimipinge maa suhtes $U_0 = 230 \text{ V}$, peab kantavate elektritarvitite väljalülitamine toimuma vähemalt 0,4 s jooksul, statsionaarsete tarvitite ning pea- ja rühmatoiteliinide väljalülitamine 5 s jooksul. Kaitse rakendamiseks tuleb täita tingimus

$$Z_s I_a \leq U_0$$

Rikkesilmuse takistus Z_s koosneb siin toiteallika, faasijuhi ja *PEN*-juhi takistusest. Rikkekoha takistus loetakse nulliks ja voolu võimalikku hargnemist maasse ei arvestata. Takistuse arvutamisel tuleb üldjuhul arvestada nii päri- kui ka vastu- ja nulljärgnevusega aktiiv- ja induktiivtakistusi. Takistuse mõõtmisel kasutatakse näivtakistusmõõturit. Linnaelamute, äri- ja haldushoonete juhistikutes on rikkesilmuse takistus $300 \text{ m}\Omega$ ning maaelamutes ja põllumajanduses $600 \text{ m}\Omega$, kusjuures reaktiivkomponendi võib jätta arvestamata. Tööstushoonetes on rikkesilmuse takistus sageli ainult $10 \text{ m}\Omega$, milles reaktiivkomponendi osatähtsus on oluline. *TN-C*-juhistikus ei saa kasutada rikkevoolukaitset, sest kaitsejuht on ühitatud ühega tööjuhtidest (neutraaljuhiga), rikkevoolukaitse aga eeldab eraldi kaitsejuhet.

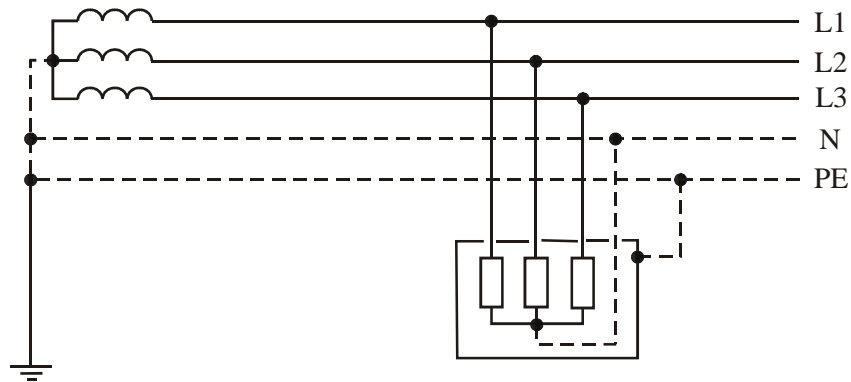
TN-C-juhistiku maandus (sisuliselt talitlusmaandus) peab tagama väikese, mitte üle 50 V puutepinge. Selleks peab maandustakistus olema mõne oomi suurune. Ühtlasi on välditud elektriseadmetele ohtlike ajutiste liigpingete teke. Liigpinged võivad siiski tekkida juhistikuga toitealajaama kõrvgpingepoole maaühenduse korral sõltuvalt kõrvgpingevõrgu maaühendusvoolust, alajaama kaitsemaandustakistusest ja sellest, kas juhistikuga neutraali talitlusmaandus on alajaama kaitsemaandusega ühitatud või mitte.

TN-C-juhistiku põhieelis teiste juhistikute ees seisneb lihtsuses ja odavuses. Samal ajal on tal olulisi puudusi. Üks nendest on *PEN*-juhi liiga väike töökindlus, mis tuleb esile tema väikese ristlõike korral. Seetõttu saab *TN-C*-süsteemi kasutada, kui *PEN*-juhi ristlõige on (vase järgi) vähemalt 10 mm^2 . Mikroelektronikaaparatuuri võivad häirida *PEN*-juhi töövoolust tingitud pingelang ning voolu hargnemine *PEN*-juhist kõrvalistesse juhtivate osadesse ja maasse. Seetõttu tuleb *TN-C*-juhistiku asemel, kui juhistik peab toitma mikroelektronikaseadmeid, kasutada ühildussõbralikumalt *TN-S*-juhistikku. *TN-S*- või *TT*-juhistikku ei saa vältida, kui nõutakse rikkevoolukaitse rakendamist.

Eestis aastatel 1945...1990 ehitatud elamutes, haldus- ja ärihoonetes, koolides ja mujal on vastavalt tolleaegsetele eeskirjadele kasutusel *TN-C*-juhistik nimipingega $220/380 \text{ V}$, mis suures osas ei vasta praegu uusehitiste ja renoveeritavate ehitiste kohta kehtivatele eeskirjadele. Tähtsamateks puudusteks on juhtide liiga väikesed ristlõiked, potentsiaaliühtlustuse puudumine, liigvoolukaitse liiga aeglane rakendumine. Puuduseks on ka kahepooluseliste (kaitsekontaktita) pistikupesade kasutamine. Kuna nüüdisaegsed kohamuutlikud elektritarvitid, mis kuuluvad I elektriohutusklassi (p 3.1.4), on varustatud kaitsekontakti sisaldava pistikuga, mille nimivool on 16 A ja pistiku sõrmede läbimõõt 5 mm , ei saa neid ühendada vanadesse kahepooluselistes pistikupesadesse, mille nimivool on 6 A ja pisteava läbimõõt 4 mm . Et elektritarviteid siiski võrku ühendada, on hakatud kasutama mitmesuguseid elektriohutuse seisukohast lubamatuid võtteid.

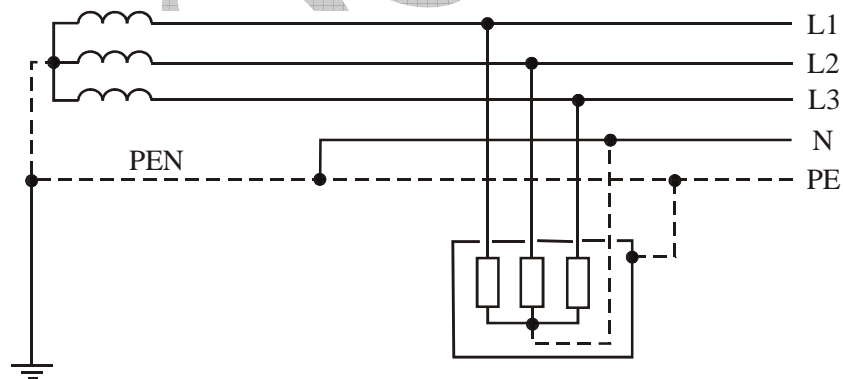
3.1.2.5 TN-S-juhistik

TN-S-juhistikus on kaitsejuht neutraaljuhist eraldatud (joonis 3.7) ja tema pinge maa suhtes on normaaltalitusel kogu juhistiku ulatuses null. Kuna neutraaljuht on kaitsejuhist isoleeritud, ei mõjuta neutraaljuhi vool ega pingelang mingil määral juhistikust toidetava mikroelektronikaaparatuuri talitlust. Ka rikkevoolukaitse rakendamine ei tekita probleeme. *TN-S*-juhistik võimaldab tõhusalt realiseerida liigpingekaitset ning lisapotentsiaaliühtlustust.



Joonis 3.7 TN-S-juhistik

Oma selgete eeliste tõttu on *TN-S*-juhistik kujunenud kõigi madalpingepaigaldiste tarbijavõrkude põhilahenduseks. Ühtlasi on tekkinud vajadus ehitada olemasolevad *TN-C*- ja *IT*-juhistikud ümber *TN-S*-juhistikeks. *TN-S*-juhistik



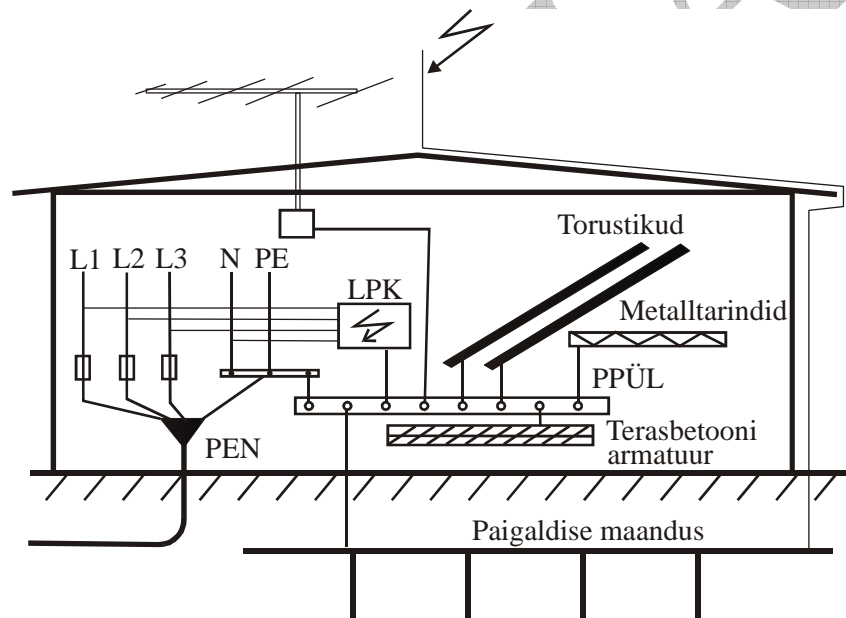
Joonis 3.8 TN-C-S-juhistik

võib alata ka elektritarbijate liitumispunkti, olles enne seda välja ehitatud *TN-C*-juhistikuna (joonis 3.8). Sellise *TN-C-S*-juhistiku võib näiteks moodustada *TN-C*-juhistik, mis ulatub elamute korruskilpideni, korterites on aga nõuetekohane *TN-S*-juhistik. Vaja on, et neutraal- ja kaitsejuht ei oleks pärast hargnemist enam üheski kohas kokku ühendatud. Elektromagnetiliste häirete

vältimiseks tuleb *PEN*-juhi hargnemispunkt *PE*- ja *N*-juhiks ühendada peapotsiaaliühtlustussüsteemiga. *TN-C-S*-juhistikku võib siiski lugeda vaid ajutiseks lahenduseks ümberehituste käigus. Enamasti tuleb sihiks seada nõuetekohase *TN-S*-juhistiku väljaehitamine.

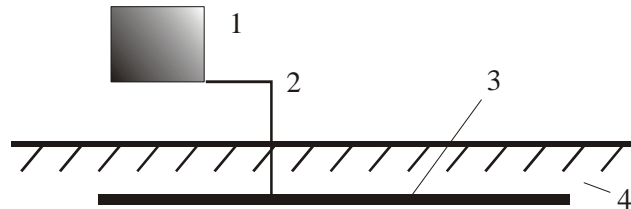
3.1.3 Maandamine ja potentsiaaliühtlustus

Kaitsemaandamine ja potentsiaaliühtlustus kuuluvad tähtsamate elektriohutust tagavate võtete hulka. Peale selle on vajalik talitusmaandus, mis vähendab elektriseadmete ja -paigaldiste osade (nt faasijuhtide) pinget maa suhtes ja kindlustab ettenähtud talitusolud. Potentsiaaliühtlustus tähendab puutevõimalike pingealtide ja kõrvaliste juhtivate osade (torustike, hoone metalltarindite) omavahelist ühendamist kaitsejuhtide abil, mis samuti ühendatakse maandusega. Maandamise kasutamist illustreerib joonis 3.9, kus on ka piksekaitse.



Joonis 3.9 Ehitise maandus ja peapotsiaaliühtlustus

Maandamise all mõeldakse elektriseadme mingi osa 1 elektrilist ühendamist **kohaliku maaga** 4 (joonis 3.10). Maaga kontaktis olevat juhtivat osa nimetatakse **maanduselektroodiks** 3. Vaja on veel üht või mitut **maandusjuhti** 2, mis loovad ühenduse seadme mingi punkti ja maanduselektroodi vahel. Maanduselektroode võib olla ka enam kui üks, siis moodustavad need maanduselektroodide võrgu ehk **maanduri**. Maandusjuhtidest ja maandurist koosnevat süsteemi nimetatakse **maanduspaigaldiseks**.

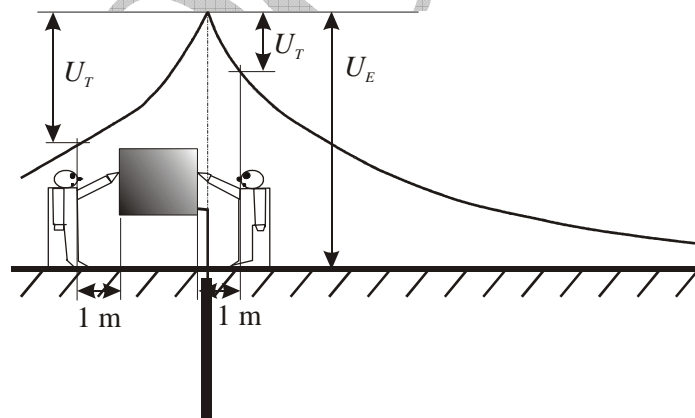


Joonis 3.10 Maandamise põhimõte

Maanduselektroodid võivad paikneda pinnases, aga ka betoonis, koksikihis või muus materjalis, mis pinnasega kokku puutub. Võidakse kasutada loomulikke maanduselektroode, nagu puurkaevutorusid, ehitiste metalltarindeid jm. Kasutada ei tohi veetorstikke, sest need võivad sisaldada isoleermaterjalist elemente.

Isolatsioonirikke korral tekib rikkekohas maahendusvool, mis on määratud vooluahela kogutakistusega, millest olulise osa moodustab **maandustakistus**. Madalpingevõrkudes võib arvestada vaid selle aktiivkomponenti (maandusresistantsi). Kõrgpingevõrkudes võivad maahendusvoolu mõjutada ka õhuliinide piksetrossid, mille takistuse reaktiivkomponent on arvestatav, ning vaadelda tuleb maandusimpedantsi. Maandusvool I_E ja maandustakistus Z_E määravad seadme maanduspinge U_E ¹

$$U_E = I_E Z_E$$



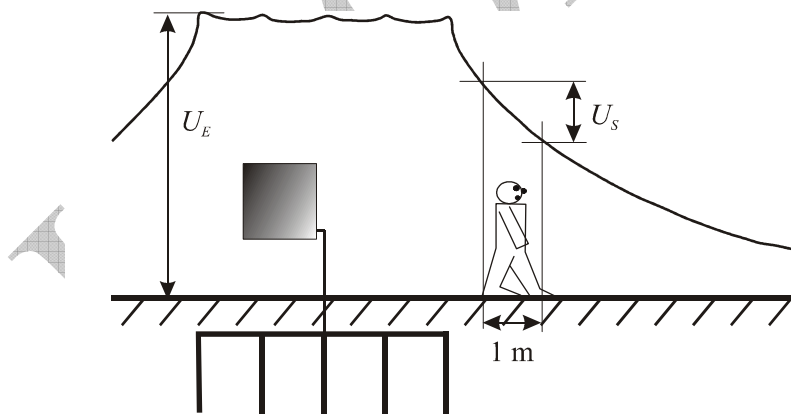
Joonis 3.11 Puutepinge ühest maanduselektroodist koosneva maanduri korral

Voolu valgumisel maasse tekib maapinnal elektriline potentsiaal, mis maanduri kaugenemisel hüperboolselt väheneb, moodustades voolu **valgumisala**.

¹ Indeks E tuleneb ingliskeelsest sõnast *earth* – maa.

Maa-ala, mille potentsiaali saab lugeda nulliks, nimetatakse **nullpotentsiaali-
alaks** (joonis 3.11). Valgumisala ulatus ja potentsiaalijaotuse iseloom olenevad maanduri ehitusest, pinnase eritakistusest ja maanduspinge väärtusest. Ligikaudselt võib arvestada, et valgumisala ulatub äärmisest elektroodist 20 m kaugusele. Suurte vooluimpulsside korral, näiteks välguvoolu hajumisel maasse, võib valgumisala ulatuda kuni 500 m kaugusele. Pinnase eritakistus on enamasti 10...1000 Ωm .

Pinget, mille alla võib sattuda inimene, kes asub maandatud seadmest kaugusel, kust ta saab seda seadet puudutada, nimetatakse **puutepingeks**. Arvutuslikuks rõhtkauguseks võetakse puutepinge määramisel 1 m. Kui maandur koosneb ühestainsast varrasedelektroodist, sõltub puutepinge U_T maanduselektroodi paigutusest seadme suhtes ja seadme puudutamise kohast ning võib olla suhteliselt kõrge. Puutepinget saab vähendada mitmest elektroodist koosneva maanduriga (joonis 3.12), mis tasandab maapinna potentsiaali maanduri kohal. Võidakse kasutada ka spetsiaalseid (enamasti rõhtsaid) potentsiaalitasanduselektroode. **Sammupingeks** U_S loetakse maanduspinge osa, mille alla võib sattuda inimene 1 m pikkuse sammu korral. Ka sammupinget saab vähendada mitme maanduselektroodiga või potentsiaalitasanduselektroodidega. Efektiivne on lähedikkude paiknevate ehitiste maandurite ühendamise. Tulemuseks on lai **maandussüsteem**, mis võib tagada tõhusa potentsiaaliühenduse näiteks kogu linna territooriumil.



Joonis 3.12 Sammupinge teke

Maandurite ehitusviisi ja maanduselektroodide valikul tuleb silmas pidada, et maandustakistus vastaks elektripaigaldise kaitse- ja talitlusnõuetele. Maandurit läbiv maaihendusvool ei tohi esile kutsuda maanduri elementide kuumenemist üle lubatud piiri. Maanduri materjal peab olema mehaaniliselt piisavalt tugev ja korrosioonikindel.

Maanduselektroode võib maasse paigaldada rõhtsalt või püstelt. Rõhtsad maanduselektroodid, mis võivad olla kas ühe- või mitmekiirelised, suletud kontuuri kujul või võrgutaolised, on otstarbekad, kui sel teel saavutatakse piisavalt väike maandustakistus ja püstseid elektroode on paigaldada raske. Püstelektroodid koostatakse enamasti jätkatavatest ümarvarrastest, kusjuures elektroodi kogupikkus võib ulatuda 15 m ja enam. Tuleb tähele panna, et rõhtsate elektroodide korral, mis paigaldatakse enamasti 0,5...1 m sügavusele, sõltub maandustakistus ilmastikust ja aastaajast, püstelektroodide korral aga mitte. Tõhusateks püstmaanduriteks on puurkaevude manteltorud pikkusega kuni mõnikümmend meetrit. Need võivad ulatuda väga hea juhtivusega pinnasekihtideni. Otstarbekas on kasutada ehitise vundamendiga ühitatud maandurit, mis on töökindel ja suhteliselt odav.



Maandusjuhid, mis ühendavad omavahel maandureid ja paigaldiste maandatavaid osi, peavad olema vastupidavad ja selgelt äratuntavad. Et kaitsemaandusjuhte ära tunda peavad need rahvusvahelise standardi kohaselt olema tähistatud kolla-rohelise tunnusvärviga. Talitlusmaandusjuhtide värvi ei standardita. Teksti kõrval asuvad tingmärgid tähistavad kaitsemaandust, talitlusmaandust ja häirevaba talitlusmaandust.

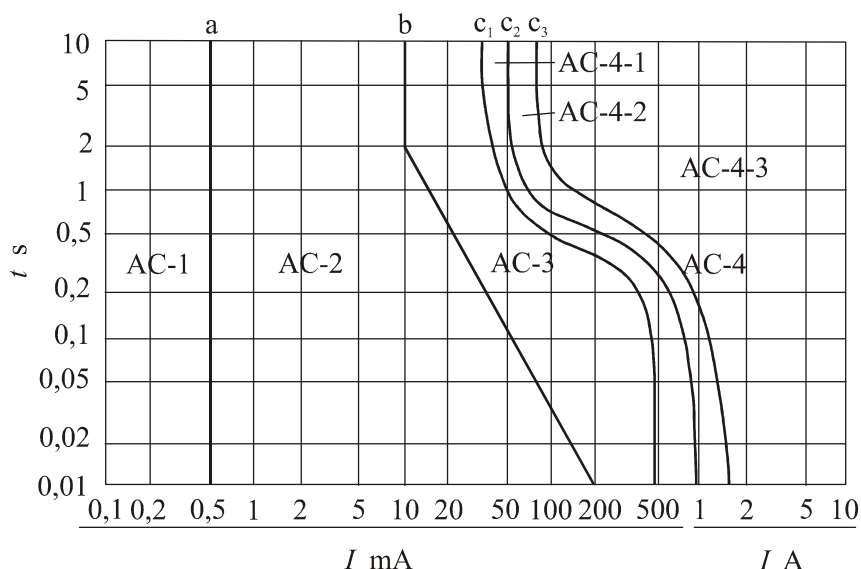


3.1.4 Elektriohutus madalpingel

Kui inimene puutub kokku elektripaigaldise pinge all oleva osaga, läbib tema keha elektrivool, mis kutsub lihastes esile kergematel juhtudel värina või vapustuse, raskematel juhtudel aga järsu kokkutõmbe ja krambi. Ka inimese teadvus võib lühikeseks ajaks kaduda. Voolu katkemisel teadvus ja lihaste normaalne töövõime enamasti taastub. Kui aga vool läbib inimese südant, võib selle rütmiline talitlus katkeda ja alata südame lihaskiudude kooskõlastamatu virvendus ehk fibrillatsioon, mis jätkub ka pärast inimese voolu alt vabastamist. Südamevatsakeste virvenduse tekkel katkeb vereringe ning verevarustuseta jääb ka inimese aju. Kui südame talitlust ligikaudu 5 minuti jooksul ei suudeta taastada, saabub surm.

Voolu toime sõltub voolu tugevusest ja ka voolu kestusest. Mida lühem on vooluimpulss, võrreldes südametegevuse rütmiga, seda väiksem on südamevatsakeste virvenduse tekke tõenäosus. Alalisvoolul, mille toime on nõrgem, on voolu piirväärtused umbes kaks korda suuremad. Joonisel 3.13 on IEC koostatud vahelduvvoolu ohtlikkuspäikkonnad. Voolu kuni 0,5 mA (piirkond AC-1) inimene tavaliselt ei tunne. Piirkonna AC-2 vool on selgelt tunda, kuid sel pole ohtlikku füsioloogilist toimet. Ka piirkonna AC-3 vool ei põhjusta organismi kahjustusi, kuid võib esile kutsuda lihaste krambi, hingamisraskusi ja südame rütmihäireid. Eluohtlikusse piirkonda AC-4 kuuluv vool võib tekitada südamevatsakeste virvendust. See piirkond jagatakse kolmeks alapiirkonnaks

südamevatsakeste virvenduse tekkimise tõenäosusega vastavalt kuni 5%, 5...50% ja üle 50%.



Joonis 3.13 Vahelduvvoolu ohtlikuspiirkonnad

Läbi inimkeha kulgev vool on määratud puutepingega ja inimkeha takistusega. Arvutustel võetakse inimkeha takistuseks enamasti $1 \text{ k}\Omega$. Tuleb tähele panna, et inimkeha takistus sõltub puutepingest (mida suurem puutepinge, seda väiksem on inimkeha takistus), voolusagedusest ja teistest asjaoludest. Kui puutepinge on alla 50 V, on inimkeha takistus kaks korda suurem kui pingel 230 V ja vool läbi keha jääb alla 25 mA. Selline vool on inimesele ohutu. Sellel asjaolul põhineb mitu kaitsevõtet, nagu kaitsevääkpinge, maandamine ja potentsiaaliühthlustus.



Elektriohutuse rahvusvaheline põhistandard EVS-EN 61140:2003 lähtub nõuetest, et ohtlikke pingestatud osi ei tohi saada puudutada ning et puutevõimalikud juhtivad osad ei tohi olla ohtliku pinge all. Rõhutatakse, et need nõuded peavad olema täidetud nii normaaloludes kui ka pärast mingi rikke teket.

Ohtliku pingestatud osa puudutamise, **otsepuute** all mõistetakse inimese vahetut või näiteks käeshoitava metalleseme kaudu tekkivat kontakti pingestatud osaga. Puutevõimalike juhtivate osade hulka kuuluvad elektriseadmete metallümbrised, juhustike metallkatted ja muud taolised pingeahtid juhtivad osad, mis isolatsioonirikke korral võivad sattuda pingele alla. Ehitiste metalltarindid, metalltorustikud jms, mis elektripaigaldisse ei kuulu, on kõrvalised juhtivad osad. Kui inimene puudutab pingeahtid osa, mis on isolatsioonirikke tõttu sattunud pingele alla, on tegemist **kaudpuutega**.

Kaitset, mis tagab elektriohutuse normaaloludes, nimetatakse **põhikaitseks**, kaitset rikkeoludes **rikkekaitseks**. Kõigis elektripaigaldistes peavad olema kasutusel mõlemad kaitseliigid. Põhikaitse seisneb enamasti otsepuutekaitse ja rikkekaitse kaudpuutekaitse rakendamises. Kui elektrilöögi risk on tavalisest suurem, näiteks väljas, märgades ruumides või juhtivate põrandate korral, nõutakse peale põhi- ja rikkekaitse veel **lisakaitset**. Madalpingepaigaldistes on selleks rikkevoolukaitse rakendumisvooluga kuni 30 mA.







Põhikaitkena kasutatakse põhiisolatsiooni, kaitsekatteid ja -ümbriseid ning väikepinget. Põhiisolatsiooniks on näiteks juhtme- ja kaabliisoonide isolatsioon, elektrimasinate ja trafomähiste isolatsioon, õhuliiniisolaatorid jm. Peale elektriliste omaduste peab põhiisolatsioon olema piisavalt kuumus- ja külmakindel, mehaaniliselt tugev, vastupidav keskkonnamõjudele ning rahuldama muid erinõudeid. Põhiisolatsiooni elektrilist kindlust kontrollitakse tootmisel pingeteimiga, kusjuures teimipinge on palju kordi kõrgem seadme nimipingest (tavaliselt mõni kilovolt). Käiduoludes kontrollitakse põhiisolatsiooni korrasolekut isolatsioonitakistuse mõõtmise teel, mis ei tohi langeda alla teatava piirväärtuse, näiteks 0,5 MΩ.

Kaitsekatteks nimetatakse osa, mis kaitseb otsepuute eest igast harilikust ligipääsusuunast. Seadme siseosi ümbritseb kaitseümbris, mis väldib juurdepääsu ohtlikele pingestatud osadele mis tahes suunast. Kaitsekatted ja -ümbrised võivad olla nii isoleermaterjalist kui ka metallist. Sel juhul jäetakse nende ja pingestatud osade vahele piisav õhkvahekiht. **Kaitseastmeid** tähistatakse standardi EVS-EN 60529:2001 kohaselt tähisega *IP (international protection)*, millele järgneb kaks tunnusnumbrit ning vajadusel ka kaks selgitustähte – *IPXXXX*. Esimene tunnusnumber osutab kaitsele võõrkehade ja puudutamissohu vastu:

- 0 – kaitse sätestamata
- 1 – võõrkehad läbimõõduga 50 mm või enam, puudutamine käelabaga
- 2 – võõrkehad läbimõõduga 12,5 mm või enam, puudutamine sõrmega
- 3 – võõrkehad läbimõõduga 2,5 mm või enam, puudutamine tööriistaga
- 4 – võõrkehad läbimõõduga 1,5 mm või enam, puudutamine traadiga
- 5 – ladestuv tolm, puudutamine traadiga, tähis 
- 6 – tolmkate, puudutamine traadiga, tähis 

Teine tunnusnumber väljendab kaitset vee sissetungi eest järgmistes oludes:

- 0 – kaitse sätestamata
- 1 – püstloodis langevad veetilgad, tähis 
- 2 – püstsuunast kuni 15-kraadise nurga all langevad veetilgad, tähis 
- 3 – piiskvesi (nt vihm), tähis  või 
- 4 – veepritsmed, tähis 
- 5 – veejoad, tähis  

- 6 – tugevad veejoad, merelained, tähis  
 7 – aegajaline üleujutus, tähis  
 8 – sukeldumine, tähis   hx , kus x on sukeldumissügavus meetrites.

Mittekohustuslik esimene lisaselgitustäht väljendab inimese juurdepääsu:

- A* – puudutamine käelabaga
- B* – puudutamine sõrmega
- C* – puudutamine tööriistaga
- D* – puudutamine traadiga.

Mittekohustuslik teine lisaselgitustäht väljendab seadme iseärasusi:

- H* – nimipinge üle 1000 V
- M* – veekindlusteim liikuvale olekus
- S* – veekindlusteim seisvas olekus
- W* – ilmastikukindlus.

Kui nõutava kaitseastme mõni tunnusnumber ei ole kaitseliigi saavutamiseks oluline, võidakse number asendada tähega *X*. Näiteks nõutakse, et otsepuute vältimiseks peab katete kaitseaste olema vähemalt *IP2X* või *IPXB*.

Kaitseväikepingena kasutatakse vahelduvpinget, mille nimiväärtus ei ole kõrgem kui 50 V, või alalispinget kuni 120 V. Tuleb tähele panna, et pinge enim lubatud väärtus sõltub ümbrusest. Pinge lubatud väärtused sätestatakse standardites. Näiteks ohtlikes oludes (märjad ruumid) lubatakse vaid pinget 25 V. Nõutav on ka, et kõrgema pinge sattumine väikepingeahelatesse oleks välistatud.

Kaitseväikepingeallikatena kasutatakse trafosid või galvaanielemente. Kaitseväikepingetrafode ülem- ja alampingemähis eraldatakse teineteisest ja ka pingeahtidest osadest kaitseisolatsiooniga. Kaitseväikepingeahelate töökindlus ja elektriohtus on kõige paremini tagatud siis, kui nende pingeahtid osad ei ole ühendatud kaitsejuhtidega. Sellist väikepingesüsteemi nimetatakse **SELV-süsteemiks** (*safety extralow voltage*, ohutu väikepinge). Kui kaitseväikepingeahel sisaldab elektroonika- ja nõrkvooluseadiseid, mis vajavad talitlusmaandust, tuleb üks toiteallika poolustest või kolmefaasilise trafo neutraal maandada. Sellist väikepingesüsteemi nimetatakse **PELV-süsteemiks** (*protective extra-low voltage*, kaitsev väikepinge).

Rikkekaitse kasutatakse elektripaigaldistes peaausjalikult lisaisolatsiooni, potentsiaaliühthlustust, kaitsevarjestust ja toite automaatset väljalülitamist. Lisaisolatsioon on iseseisev rikkekaitse eesmärgil lisaks põhiisolatsioonile ette nähtud isolatsioon. Põhi- ja lisaisolatsioon kokku moodustavad topeltisolatsiooni, mis on üks **kaitseisolatsiooni** liikidest.


Potentsiaaliühthlustus seisneb juhtivate osade omavahelises elektrilises ühendamisega sama elektrilise potentsiaali saavutamiseks kogu paigaldises või selle osas. Kui üks selliselt ühendatud osadest peaks sattuma isolatsioonirikke tõttu



ühendusse pingestatud osaga, ei teki eri osade vahel potentsiaalierinevusi ja inimene, kes võiks eri osi ühel ajal puudutada, ei satu ohtliku pinge alla. Peapotentsiaaliühtlustus nähakse ette hoone elektrisisendis, kus ühendatakse kokku peakaitsejuht, paigaldise maandus, metalltorustikud, metalltarindid ja kaablite metallkestad (joonis 3.9). Vajaduse korral kasutatakse veel lisa- ja kohalikku potentsiaaliühtlustust. Tuleb arvestada, et rikke korral võivad potentsiaaliühtlustusjuhtides kulgeda suured lühisvoolud, mis võivad esile kutsuda potentsiaalierinevusi. Seetõttu on vajalik, et potentsiaaliühtlustusjuhtide ristlõige oleks vähemalt sama suur kui kaitsejuhtide suurim ristlõige.


Kaitsevarjestuseks nimetatakse elektrijuhtide eraldamist ohtlikest pingestatud osadest juhtiva varje abil, mis on ühendatud kaitseotstarbelise potentsiaaliühtlustussüsteemiga. Kaitsevarje võib toimida ka talitluse eesmärgil, kaitstes elektroonikaaparaate elektromagnetiliste häirete eest.

Toite automaatne väljalülitamine pingealtide osade sattumisel pinge alla on vajalik siis, kui on karta, et pinge ületab kehtvat lubatud väärtuse (50 V). Kui paigaldistes on kasutusel potentsiaaliühtlustus, on ohtliku puutepinge tekkimise oht väike. Selle puudumisel aga igati reaalne. Kui pingealdis osa on neutraaljuhiga ühendatud, tekib isolatsioonirikkel ühefaasiline lühis, mille puhul peab rakenduma liigvoolukaitse. Kui liigvoolukaitse rakendub küllalt kiiresti, ei ole ohtlikuks muutunud pingealti osa puudutamine kuigi tõenäoline. Kui võrgu nimipinge maa suhtes on 230 V, peab kantavate elektritarvitite korral väljalülitamine toimuma 0,4 s, kohtkindlate tarvitite korral 5 s jooksul. Elektriseadmete kasutamisel tavalisest raskemates oludes (niisketes ruumides, väljas, loomalautades) nõutakse põhi- ja rikkekaitse kõrval veel lisakaitset, milleks on rikkevoolukaitse. Nõutakse, et rikkevoolukaitse reageerib rikkevoolule, alates 30 mA rakendumisajaga kuni 30 ms.

Kaitseviisi valik sõltub juhistikusüsteemist ja elektritarvitite **elektriohutus-klassist** (kaitseklassist). Eristatakse kolme elektriohutusklassi, millele lisandub veel 0-klass.

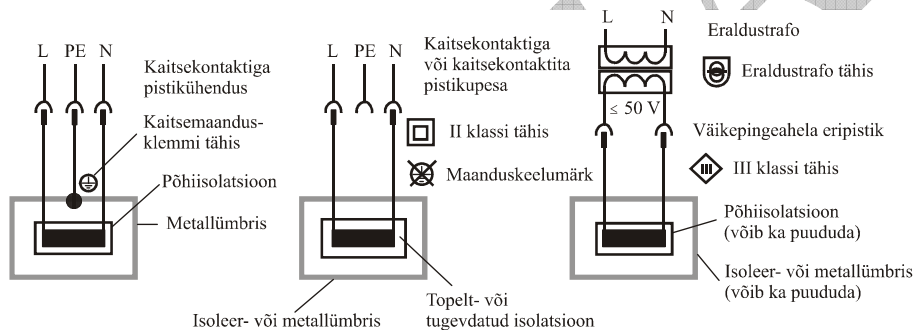
I klassi kuuluvais seadmeis kasutatakse põhiisolatsioonile lisaks pingealtide osade ühendamist kaitsejuhiga. Kaitsejuhi külgeühendusklenn on tähistatud sümboliga . Nullklassi elektriseadmeid ei tohi mingil juhul asuda samas ruumis I klassi seadmetega, sest nullklassi seadme isolatsioonirikke korral satub selle kere maandatud seadme suhtes eluohtliku pinge alla.

II klassi kuuluvad seadmed, mis on varustatud kaitseisolatsiooniga, s.t kahekordse või tugevdatud isolatsiooniga. II klassi elektriseadet ei saa ühendada kaitsejuhiga ja tema kaitsevõime ei olene paigaldusoludest. Selliseid seadmeid tähistatakse märgiga  ja mõnikord ka maanduskeelutähisega .

III klassi seadmete kaitse elektrilöögi eest põhineb kaitsevääkepingetoitel (*PELV, SELV*). III klassi seadmeid tähistatakse märgiga . Selle klassi seadmed ei vaja kaitsemaandust. Erandina võib esineda talitusmaandus.

0-klassi seadme kaitse elektrilöögi eest põhineb ainult põhiisolatsioonil. Kui hoone elektrijuhistikus ei ole kaitsejuhti, muutub ka I klassi tarviti 0-klassi tarvitiks. Seadme pingeleid juhtivaid osi ei saa ühendada paigaldise kaitsejuhiga. Sellised elektriseadmed on enamikus Euroopa riikides keelatud. Eestis on need praegu veel laialt kasutusel ning neid püütakse järk-järgult asendada. Nullklassi kuuluvaid seadmeid tohib õigupoolest kasutada vaid mittejuhtivas ümbruses.

Seadmed, mis vastavad Euroopa ohutus- ja muudele madalpingedirektiividele ning elektromagnetilise ühilduvuse direktiivile, tähistatakse **CE**-märgiga.



Joonis 3.14 Pistikupesast toidetava I, II ja III klassi elektritarviti ühenduskeem

Pistikupesast toidetavate seadmete ühenduskeemid eri ohutusklasside korral on joonisel 3.14. I elektriohutusklassiga sobivate pistikute ja pistikupesade konstruktsioon tagab, et kaitsesoon ei saa minna vahetusse teiste soontega. Riigiti on kasutusel erinevad pistikute konstruktsioonid. Saksamaal ja Itaalias on põhikontaktid vahetatavad, kaitsekontakt paikneb pistiku mõlemal poolel või põhikontaktide vahel (Itaalia). Prantsusmaal ja Šveitsis on kasutusel kolmnurkpaigutus, mis laseb pistikul asetuda pistikupesasse vaid ühes asendis, ega lase ka faasi- ja neutraaljuhil vahetusse minna. Põhjamaades ja Eestis kasutatakse saksa pistikuühendust, kusjuures imporditavad elektritarvitid võivad olla varustatud pistikutega, mis sobivad nii saksa kui ka prantsuse pistikupesasse (joonis 3.15). Sõna *Schutzkontakt* (kaitsekontakt) järgi on hakatud saksa pistikuid nimetama **schukopistikuteks**.



Joonis 3.15 Schukopistik

3.2 Madalpingetarbijate arvutuslik võimsus

Elektritarbijate mingil hetkel tarbitav võimsus on alati väiksem kui paigaldatud ehk installeeritud võimsus, mille moodustab elektritarvitite nimivõimsuste summa. Tähele tuleb panna **samaaegsustegurit**, mis arvestab, et kõiki olemasolevaid tarviteid ei lülitata sisse korraga, **kasutustegurit**, mis arvestab, et ühtegi tarvitit ei kasutata pidevalt, ning **maksimumitegurit**, mis arvestab, et tarvitid ei pruugi talitleda täisvõimsusel. Kõik need tegurid on väiksemad kui 1 ja nende korrutamisel saadav kokkuvõtlik **nõudlustegur** on tavaliselt 0,4...0,7. Nimeetatud tegurid sõltuvad mitmest asjaolust ja neid võib teabekirjanduse põhjal hinnata. Tuleb siiski tähele panna, et tarbitavat võimsust saab nõudlusteguri järgi määrata vaid siis, kui on teada paigaldatud võimsus ja selle iseloom. Sellise teabe puudumisel, eriti aga alles kavandatavate elektritarbijate korral, tuleb tugineda vaadeldavate ettevõtete plaanitud toodangule, elamute pindaladele ja muudele kaudsetele näitajatele.

3.2.1 Eluhoonete arvutuslik võimsus

Eluhoonete arvutusliku võimsuse hindamisel lähtutakse korteri, elamu või hoonerühma pindalast. Eestis, nagu ka Soomes ja Rootsis, leitakse arvutuslik võimsus valemiga

$$P_a = pA + P_0$$

kus A – elamu kasulik pind m^2

p – elektrifitseerituse taset iseloomustav erivõimsus kW/m^2

P_0 – hoone liiki iseloomustav lisavõimsus kW .

Üheliigiliste elamute puhul saab kogu rühma lugeda justkui üheks suureks elamuks ning valem jääb kehtima. Eriliigiliste elamute puhul tuleb hooned jaotada liikide järgi rühmadesse. Suurima tarbimisega rühm võetakse põhikoormuseks ja sellega liidetakse teiste koormusrühmade võimsused teatava liitumisteguriga a , mis arvestab, et eri rühmade koormustipud ei lange ajaliselt kokku. Lisavõimsus P_0 võrdsustatakse summeeritavate lisavõimsuste hulgast suuri-maga: $P_0 = P_{0\max}$.

Kogu arvutuslik võimsus leitakse valemiga

$$P_a = p_p A_p + a_1 p_1 A_1 + \dots + a_n p_n A_n + P_{0\max}$$

kus p_p – põhikoormuse elektrifitseerituse taset iseloomustav erivõimsus kW/m^2

A_p – põhikoormuse kasulik pind m^2

$a_1 \dots a_n$ on liitumistegurid

$p_1 \dots p_n$ – liidetavate koormuste elektrifitseerituse taset iseloomustavad erivõimsused kW/m^2

$A_1 \dots A_n$ – liidetavate koormuste kasulikud pinnad m^2

Elektrifitseerituse taset ja hoone liiki iseloomustavad võimsused on tabelis 3.1.

Tabel 3.1 Elamute arvutusliku võimsuse määramise tegurid

Rühm	Hoone liik	Pliidi liik ja elekterkütte kasutamine	$A \leq 1500$		$A > 1500$	
			p	P_0	p	P_0
1.1	Korruselamu	Tahkkütuse- või balloongaasipliit	0,016	25	0,009	36
1.2		Maagaasipliit	0,012	25	0,007	32
1.3		Elektripliit ilma elektrikeriseta	0,032	30	0,016	54
1.4		Elektripliit ja elektrikeris	0,050	30	0,024	69
2.1	Suveelamu	Tahkkütuse- või balloongaasipliit	0,010	12	0,008	15
2.2		Elektripliit ja elektrikeris	0,026	12	0,024	15
3.1	Ridaelamu	Tahkkütuse- või balloongaasipliit	0,012	30	0,008	36
3.2		Elektripliit ja elektrikeris	0,028	30	0,024	36
3.3		Elektripliit, elektrikeris, otsene elekterküte ja otsene kuumaveevarustus	0,070	30	0,060	45
3.4		Elektripliit, elektrikeris, salvestuselekterküte ja salvestav elekterkuumaveevarustus	0,200	45	0,180	75
4.1	Eramu	Tahkkütuse- või balloongaasipliit	0,010	12	0,010	12
4.2		Elektripliit ja elektrikeris	0,028	12	0,024	18
4.3		Elektripliit, elektrikeris, otsene elekterküte ja otsene kuumaveevarustus	0,070	12	0,060	27
4.4		Elektripliit, elektrikeris, salvestuselekterküte ja salvestav elekterkuumaveevarustus	0,200	18	0,180	48
5.1	Taluelamu	Tahkkütuse- või balloongaasipliit	0,008	12	0,008	12
5.2		Elektripliit ja elektrikeris	0,024	12	0,020	18
5.3		Elektripliit, elektrikeris, otsene elekterküte ja otsene kuumaveevarustus	0,060	12	0,050	27
5.4		Elektripliit, elektrikeris, salvestuselekterküte ja salvestav elekterkuumaveevarustus	0,200	18	0,180	48

3.2.2 Tööstustarbijate arvutuslik võimsus

Tööstustarbijate arvutuslik võimsus sõltub elektritarvitite arvust, nimivõimsusest ning tarbimise iseloomust. Ühe tarviti korral on ülesanne lihtne – arvutuslik võimsus võrdub tarviti nimivõimsusega. Kui koormuse moodustab tarvitite rühm, jääb nende tegelik summaarne võimsus enamasti väiksemaks kui paigaldatud ehk installeeritud võimsus, mille moodustab tarvitite nimivõimsuste summa. Tarbija arvutuslik võimsus P_a on seetõttu leitav seosega

$$P_a = k_n P_p$$

kus k_n on nõudlustegur ja P_p paigaldatud võimsus.

Nõudlustegur, mis tööstustarbijatele on 0,15...0,95, koosneb omakorda samaaegsustegurist k_r , mis arvestab, et mitte kõik olemasolevad tarvitid ei ole korraga sisse lülitatud, kasutustegurist k_k , mis arvestab, et ühtegi tarviti ei kasutata pidevalt, ja maksimumitegurist k_m mis arvestab, et tarvitid ei pruugi talitleda täisvõimsusel

$$k_n = k_r k_k k_m$$

Vaadeldavad tegurid sõltuvad mitmest asjaolust ja neid võib teabekirjanduse põhjal hinnata. Tõenäosusteooriast lähtudes on tuletatud analüütiline seos maksimumiteguri jaoks sõltuvalt tarvitite arvust n ja kasutustegurist k_k . Kuna tarvitid on erinevate nimivõimsustega ja nende osakaal tarbimisel on erinev, lähtutakse siinjuures tarvitite efektiivsest arvust n_e , mis leitakse valemiga

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{ni} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{ni}^2}$$

kus P_{ni} on i -nda tarviti nimivõimsus. Maksimumitegur avaldub valemiga

$$k_m = 1 + \left(\frac{1}{k_k} - 1 \right) \cdot \left[b + (1-b) \cdot e^{-\frac{1-n_e}{b}} \right] \cdot n_e^{-0,75}$$

kus tegur $b = 2,6 \cdot \sqrt{k_k}$.

Kui tarvitite efektiivne arv ületab nelja, siis valem lihtsustub

$$k_m = 1 + 2,6 \sqrt{k_k} \left(\frac{1}{k_k} - 1 \right) \cdot n_e^{-0,75}$$

Arvutuslik võimsus ning vastavalt ka vaadeldavad tegurid määratakse tavaliselt 30-minutilise ajaintervalli kohta. Muu keskendamisperioodi Δt korral võib maksimumiteguri ümber arvutada valemiga

$$k_m(\Delta t) = 1 + (k_m - 1) \sqrt{30 / \Delta t}$$

Kui nõudlustegurid on leitud tarvitirühmade kaupa, siis ei tohi tarbija summaarset koormust leida lihtsalt summeerimise teel. Vaja on lähtuda summaarsest nõudlustegurist, mis on leitav valemiga

$$k_n = \frac{\sum_{i=1}^m k_{ni} P_{pi}}{\sum_{i=1}^m P_{pi}}$$

kus m on vaadeldavate rühmade arv.

Valgustusseadmete arvutuslik võimsus leitakse enamasti erivõimsuse alusel

$$P_a = pA$$

kus p on valgustuse erivõimsus pinnauhikule (W/m^2) ja A valgustatava ruumi pindala m^2 .

Tööstusettevõtete projekteerimise algetapil, kui seadmete võimsused ei ole veel teada, saab arvutusliku võimsuse määrata erivõimsuste alusel

$$P_a = wC/T_m$$

kus w on tooteühikule kuluv elektriline võimsus, C plaanitav aastatoodang ja T_m maksimaalkoormuse kasutustundide arv aastas.

3.2.3 Juhtide ristlõike määramine

Madalpingevõrkude projekteerimisel tuleb faasijuhtide kõrval määrata ka neutraal-, kaitse- ja maandusjuhtide ristlõiked. Arvesse tuleb võtta

- juhi lubatud temperatuuri
- lubatud pingekadu
- lühisvoolu võimalikku elektromehaanilist toimet
- muid juhile toimida võivaid mehaanilisi koormusi
- lühisekaitse rakendumise seisukohalt enim lubatud takistust
- juhtide liiki, materjali ja paigaldust.

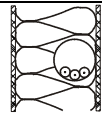
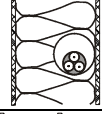
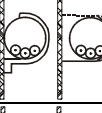
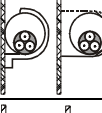
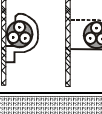


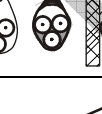
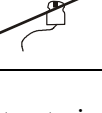
Täiendavateks asjaoludeks on

- ümbruse temperatuur
- välised soojusallikad
- tahked võõrkehad (nt tolmu)
- korrosioon
- vibratsioon
- loomariigi toime
- hallituse ja taimede toime.

Juhistiku moodustavad paljasjuhid, isoleerjuhtmed ja -latid ning kaablid, mis on paigaldatud torusse, karbikusse, kaablikanalisse, kaablitarindeile, isolaatoritele, kandetrossile või muul viisil kinnitatud seinale, põrandasse jm. Faasijuhtide liigkuumenemise vältimist arvestav kestvalt lubatud koormusvool määratakse IEC-standardis **tüüppaigaldusviiside** järgi, mille põhimõtted on tabelis 3.2.

Ehkki tegelikud paigaldusviisid võivad tüüpsetest ühel või teisel määral erineda, on enamik neist taandatavad tüüpsetele standardites esitatud näidete abil.

Tabel 3.2 Juhtmete ja kaablite tüüppaigaldusviisid

Põhimõte	Kirjeldus	Tähis
	Isoleerjuhtmed soojusisoleerseinäs paiknevas torus	A1
	Mitmesooneline kaabel soojusisoleerseinäs paiknevas torus	A2
	Isoleerjuhtmed puitseinal paiknevas torus	B1
	Mitmesooneline kaabel puitseinal paiknevas torus	B2
	Ühe- või mitmesooneline kaabel puitseinal	C
	Mitmesooneline kaabel pinnases paiknevas torus	D
	Mitmesooneline kaabel vabas õhus	E
	Ühesoonelised kokkupuutega kaablid vabas õhus	F
	Ühesoonelised õhkvahega kaablid vabas õhus	G

Juhtmete ja kaablite kestvalt lubatud voolud on tüüpsete paigaldusviiside jaoks esitatud vastavas standardis. Lähtutakse arvestusest, et polüvinüülkloriid- ehk PVC-isolatsiooni korral on juhi maksimaalselt lubatud temperatuur 70 °C ning võrkpolüeteen- ehk XPE-isolatsiooni korral 90 °C. Tabelis 3.3 on väljavõte standardist IEC 60364-5-52:2001.

Tabel 3.3 Juhtide kestvalt lubatud voolud

Tüüp	Juhtide arv ja isoleermaterjal				
A1	3 PVC	3 XPE	2 XPE		
A2					
B1	2 PVC	3 PVC	3 XPE		
B2					
C				3 XPE	2 XPE
E			3 PVC	2 PVC	
F					3 XPE
Ristlõige	Kestvalt lubatud vool I_z				
Cu 1,5	13,5	15,5	18,5	22	24
10	42	50	60	70	80
25	73	89	101	119	135
50		134	153	179	207
95		207	238	278	328
150			318	371	441
Al 16	43	53	61	73	84
35		86	96	112	126
50		104	117	136	154
70		133	150	174	198
120		186	212	245	280
240			330	382	439

Kohtkindlate jõu- ja valgustusahelate kaablite ja isoleerjuhtmete väiksem lubatud ristlõige on vase korral 1,5 mm² ja alumiiniumi korral 16 mm². Maandusjuhi ristlõikeks peab olema vähemalt 16 mm², kui materjaliks on korrosiooni eest kaitstud vask või tsingitud teras. Kaitsmata vasel peab ristlõige olema vähemalt 25 mm² ja tsingitud terasel 50 mm².

Kaitsejuht peab olema terviklik ja isoleeritud muudest süsteemidest. Kaitsejuhi ristlõige määratakse järgmiselt:

- eraldi asetsev kaitsejuht – kaitstult 2,5 mm², kaitsmata 4,0 mm²
- kaablis faasijuht ristlõikega vähem kui 16 mm² – sama peab olema ka kaitsejuhi ristlõige
- faasijuht ristlõikega 16...35 mm² – kaitsejuhi ristlõige peab olema vähemalt 16 mm²
- faasijuht ristlõikega üle 35 mm² – kaitsejuhi ristlõige peab olema vähemalt pool sellest.

Neutraaljuhi ristlõige kahefaasilises süsteemis valitakse samasugune kui faasijuhi ristlõige, kui faasijuhi ristlõige on väiksem kui 16 mm² vase ja 25 mm² alumiiniumi korral. Suurema faasijuhi ristlõike korral võib neutraaljuhi ristlõige

olla faasijuhri ristlõikest väiksem tingimusel, et koormus on sümmeetriline ja neutraalis on liigvoolukaitse.

Peapotentsiaaliühtlustusjuhi ristlõige peab olema vähemalt pool paigaldise suurimast kaitsejuhi ristlõikest, kuid mitte vähem kui 6 mm^2 . Vase puhul ei pruugi ristlõige olla suurem kui 25 mm^2 .

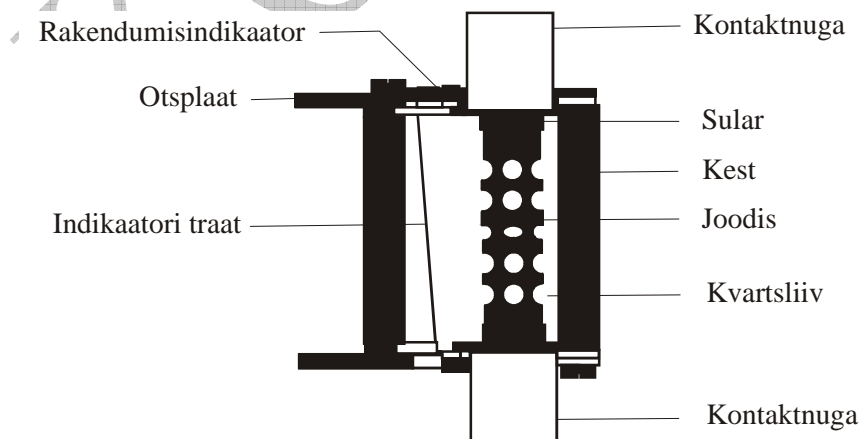
3.3 Madalpingevõrgu kaitse

Elektrivõrguga ühendatud seadmed võivad ebasoodsates oludes kahjustuda või muutuda ohtlikuks. Kaitsta on vaja inimesi ja loomi elektrilöögi eest ning elektrimasinaid, seadmeid ja võrku liigkoormuste ja lühiste eest. Ohtlikuks võib osutuda nii liigpinge kui pinge ülemäärane vähenemine.

3.3.1 Kaitseseadmed

Enam levinud kaitseseadmeteks on sulavkaitsmed, kaitsereled, kaitseülilidid ja liigpingepiirikud. Sulavkaitsme on lihtsaim ja odavaim seade, mis katkestab vooluahela, kui vool selles ületab lubatud väärtuse. **Sulavkaitsme** põhiosadeks on sular, sularihoidik, kontaktid ja kaare kustumist võimaldav keskkond (joonis 3.16). Joonisel esitatud torukaitsme (tüüpi tähis *NH*) kõrval on elektrivarustuses levinud ka keerepidemega padrunkaitsmed e korkkaitsmed (tüüpi tähis *D*).

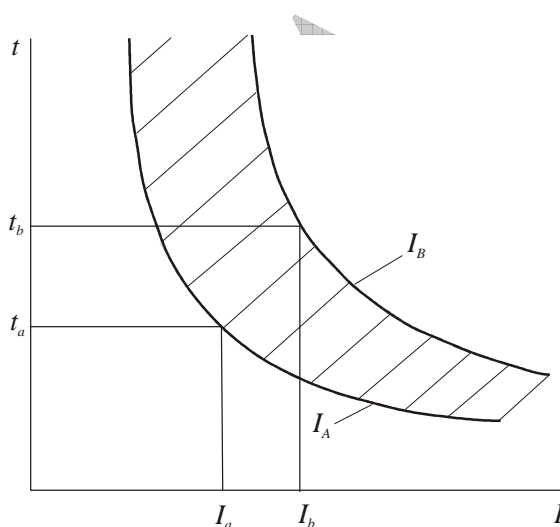
Sular on kergsulavast metallist (tsingist, hõbedast) varras või riba, mis elektrivoolu toimel kuumeneb ja rakendusvoolu juures sulab, katkestades vooluahela. Kui vool ületab nimivoolu enam kui 1,4...1,6 korda, siis põleb sular läbi suhteliselt pika aja (nt 2 h) jooksul. Vähendamaks reageerimisaega, tehakse sularile kitsendatud kohad, kus voolutihedus on suurem ning eraldub rohkem soojust. Rakendusvoolust väiksema voolu korral kandub soojus laiemasse ossa



Joonis 3.16 Sulavkaitsme ehitus

ja sular ei reageeri. Ka liigkoormuse puhul toimub soojuse ülekanne, kuid mõne aja möödudes üks kitsenduskoht sulab. Lühise korral kuumenevad ja sulavad kiiresti kõik kitsamad kohad. Teiseks reageerimise kiirendamise võtteks on joota sularile mõnd kergelt sulavat metalli, näiteks tilk tina või pliidi. Vedelas olekus lahustab see raskelt sulavat metalli, mille tõttu sular põleb kiiremini läbi. Sulari läbipõlemise järel tekib elektrikaar. Kaare kustumise tingimustest sõltub kaitsme lahutusvõime – lahutatav piirvool. Kaare kustumist kiirendab kvartslüüv, mis jahutab kaart. Kaitsmel võib olla rakendumisindikaator, mis põhineb sulariga rööbiti oleva peene traadi läbipõlemisel, kui sular rakendub. Traadiga ühenduses olev märgis tuleb vedru toimel esile.

Sularit iseloomustab rakendumistunnusjoon – sulari sulamiskestuse sõltuvus voolutugevusest (joonis 3.17). Sulamise termiline protsess põhjustab tunnusjoone hajuvust. Hajuvuse piirideks on minimaalne rakendumisvool I_A , mida sular peab etteantud aja jooksul tingimusteta taluma, ning maksimaalne mitterakendusvool I_B , mille ületamisel sular peab rakenduma. Sulavkaitsme tähtsamateks tunnussuurusteks nimipinge kõrval on nimivool, mis võib ulatuda kuni 1250 A, ja lahutusvõime, mis tööstustarbijate korral peab olema vähemalt 50 kA.



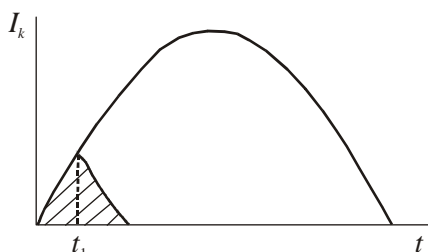
Joonis 3.17 Sulari rakendumistunnusjoon

Sulari rakendumistunnusjoon peab olema kaitstava objekti ohutustunnusjoonest allpool. Sulavkaitsme võib olla ette nähtud juhtide, mootorite või pooljuhtide kaitseks ainult lühiste või ka liigkoormuse puhul. Kasutusel on järgmised tähised:

- g – täielik kaitse, rakendub nii liigkoormusest kui lühisest
- a – osaline kaitse, mõeldud vaid lühisvoolu lahutamiseks
- G – üldotstarbeline
- M – mootoriahela kaitse
- R – pooljuhtide kaitse.

Kasutusel on veel tähised, mis osutavad kaitsme lahutusvõimele ja lahutuskiirusele. Juhistike kaitseks kasutatakse kiiretoimelisi sulavkaitsmeid, mille rakendumistunnusjoone tüüpi tähiseks on gG . Mootorite puhul kasutatakse aM -tüüpi kaitsmeid. Peetakse silmas, et sulavkaitsme lahutab siin vaid lühisvoolu. Liigkoormuse vastu kaitseb mootorit väiksema lahutusvõimega kaitselüliti.

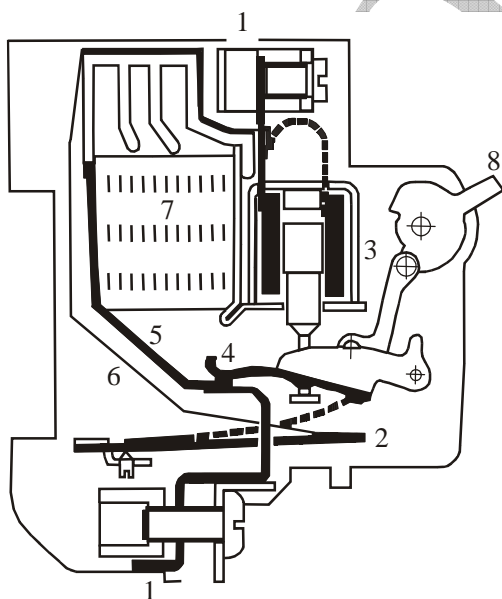
Kaitsmeid iseloomustab veel nimivool, nimipinge, voolu tüüp (alalisvoolu jaoks on eraldi kaitsmed), lahutusvõime. Kaitse peab taluma 1...2 tunni vältel 1,6-



Joonis 3.18 Lühisvoolu piiramine

kordset nimivoolu. Sular ei tohi reageerida kuni 1,3...1,4-kordsele nimivoolule. Suuremate voolude korral on lahutusajad väiksemad. Nii võib kümnekordselt nimivoolu ületava lühisvoolu korral lahutusaeg olenevalt kaitsme tüübist olla vaid 0,001 sekundit. Niivõrd kiiresti reageeriv sulavkaitse piirab tunduvalt lühisvoolu. Joonisel 3.18 vastab kõrgem kõver lühisvoolule, mida ei piirata, madalam aga voolule, kui sulavkaitse reageerib hetkel t_1 .

Kaitsmed peavad lühise korral rakenduma selektiivselt. Alati peab varem rakenduma sulavkaitse, mis on vahetult lühisekoha ees. Selle nõude täitmiseks ei tohi sularite tunnusjooned ristuda. Nii peab gG-tüüpi sulavkaitsme nimivool olema temale järgnevast sulavkaitsmest 1,6 korda (nimivoolu ühe astme võrra) suurem.

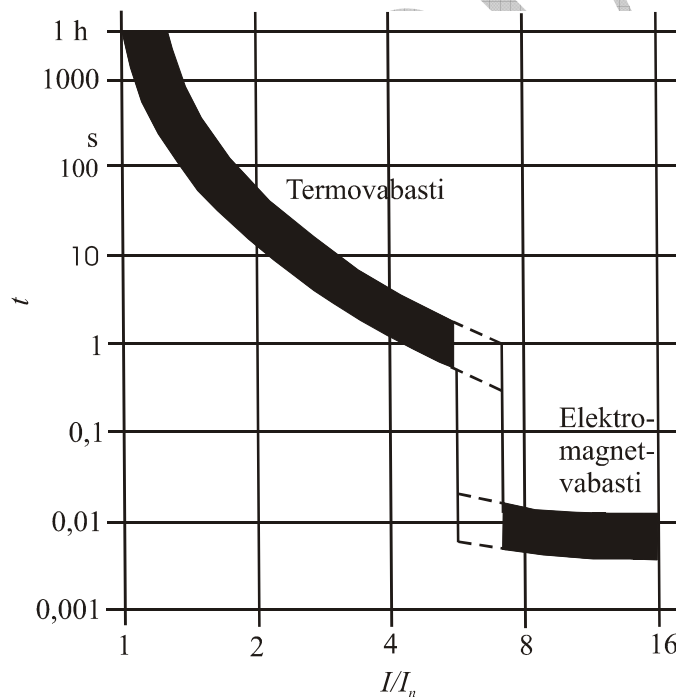


Joonis 3.19 Kaitselüliti lõige

Kaitselüliti on mehaaniline lülitusaparaat, mis on ennekõike mõeldud seadmete kaitseks lühiste ja liigkoormuste, aga ka inimeste kaitseks rikkevoolu (lekkevoolu) vastu. Kaitselüliti võib toimida ka koormus- ja lahklülitina nii käsitsi lülitamisel juhthoova abil kui kauglülitamisel elektromagnet- või mootor-ajamiga. Lühisvoolude väljalülitamine võib toimuda voolu nullväärtusel või kiirelt umbes 1 ms jooksul voolutugevuse piiramise eesmärgil. Kaitselüliteid toodetakse erinevaks otstarbeks. Enam levinud on liinikaitselülitid, mootorikaitselülitid ja rikkevoolukaitselülitid.

Kaitselüliti ehituse näide on joonisel 3.19. Sisselülitamine toimub käsitsi hoovaga 8. Kaugjuhitavatel lülititel on selleks ka elektromagnet- või mootor-ajam. Väljalülitamiseks on lülitushoovale lisaks bimettallvabasti (termovabasti) 2 ja elektromagnetvabasti 3. Tekkiv elektrikaar venitatakse välja ning kustub

kaarekustutuskambris 7. Üle 200 A nimivooluga lülitel on peakontaktidele lisaks veel kaarekustutuskontaktid, mis sisselülitamisel sulguvad enne ja väljalülitamisel lahutuvad pärast peakontakte. Bimetallvabasti konstrueeritakse nii, et see simuleeriks näiteks elektrimootori kuumenemist ning reageeriks ülekuumenemisele vastavas olukorras. Bimetallvabasti tunnusjoon on sarnane sulavkaitsme tunnusjoonega, kaasa arvatud hajuvus. Termovabastina võidakse kasutada ka pooljuhtvabastit, millel hajuvus puudub. Suurte voolude (nt lühisvoolu) korral rakendub elektromagnetvabasti. Kokku võttes on kaitselüliti rakendustunnusjoon joonisel 3.20 kujutatuga sarnane. Kaitselüliti võib olla komplekteeritud veel alapingevabastiga, mis rakendub, kui toitepinge langeb alla 35...70% nimipingest. Võimalik on rikkevooluvabasti, mis reageerib seadmesse suubuva ja sealt väljuva voolu vahele (diferentsiaalile). Kaitselüliti kaugväljalülitamiseks on ette nähtud sõltumatu vabasti. Nüüdisaegsed kaitselülitid võivad olla varustatud elektroonsete, mikroprotsessoripõhiste vabastitega, mis täidavad kõiki nimetatud funktsioone.

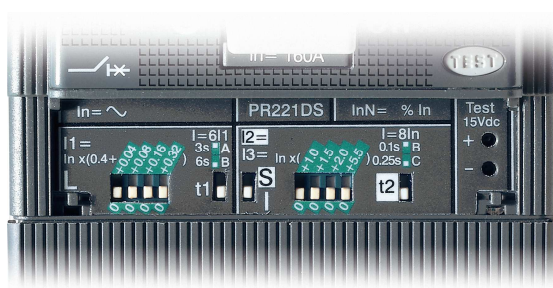


Joonis 3.20 Kaitselüliti rakendustunnusjoon

Kaitselüliti põhilised tunnusuurused on nimipinge, nimivool, lahutusvõime ja talitluskiiirus. Kaitselüliti üheks olulisemaks ülesandeks on lühisvoolu piiramine. Selleks tuleb vooluahel katkestada mõne millisekundi vältel veel enne, kui vool saavutab maksimumväärtuse. Lühisvoolu kiire katkestamise efekt on sama kui sulavkaitsmetegi korral (joonis 3.18). Vajalik on nii peakontaktide

kiire avanemine kui elektrikaare kustumine. Esmalt juhitakse tekkinud elektrikaar kaarekustutuskambri suunas ning kaarepinge hakkab kasvama. Kaart võib vaadelda kui ekvivalentset takistit, mis piirab lühisvoolu kasvamist. Kontaktide avamiseks vajalikust jõust saadakse osa elektrodünaamilise jõu kujul, mis indutseeritakse rööbiti kulgevates sobiva geomeetrilise kujuga voolujuhtivates osades. Tähtis roll on elektromagnetvabasti löökuril, mis avab kontaktid ja kiirendab nende eemaldumist. Kui näiteks löökur tabab kontakte 0,7 ms pärast, kujuneb kogu lahutusaeg 1,5...1,8 ms pikkuseks. Kuna vahelduvvoolu pool-laine pikkuseks on 10 ms, tähendab see, et lühisvool lahutatakse tunduvalt varem, kui see saavutab eeldatava tippväärtuse.

Kaitseülilite põhilised tunnussuurused, nagu nimivool, rakendustunnusjoon jm, valitakse kaitstavale seadmele või paigaldisele sobivalt. Nüüdisaegsed täiuslikumad lülitid võimaldavad tunnussuurusi ka muuta.



Joonis 3.21 Kaitseülilite esipaneeli fragment

asetsevate nuppude abil saab muuta sätteid lülite rakendamiseks liigkoormuse (tähis *L*) ja liigvoolu (tähis *S*) korral.

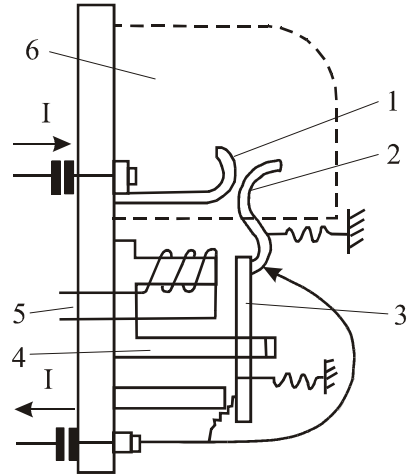
Mitmekülgsed kaitsevõimalusi pakub releekaitse. Üldiselt võttes on **relee** seadis, mis välisele füüsilisele toimele (sisendsignaale) reageerides muudab hüppeliselt väljundtoimet (väljundsignaali). Sisendoime järgi jagunevad releed elektrilisteks, soojuslikeks, optilisteks jm. Madalpingeseadmete kaitse seisukohalt pakuvad enam huvi elektrilised releed, mis reageerivad elektrivoolu tugevusele ja pingele. Traditsiooniliste elektromagnetiliste releede asemel on hakatud järjest enam kasutama mikroprotsessoripõhiseid releesid, mis kaitsetoime kõrval võimaldavad realiseerida ka mitmesuguseid mõõte- ja juhtimistegevusi.

Releed realiseerivad oma kaitsetoime kontaktorite vahendusel. **Kontaktori** on automaatne lülitusaparaat madalpingeelektriahelate sagedaseks sisse- ja väljalülitamiseks (joonis 3.22). Kaitsetstarbel võimaldab kontaktori väljalülitada nimivoolust 10...20 korda suuremat voolu. Kontaktori põhiosadeks on magnetahel – liikumatust 4 ja liikuvast osast (ankrust) 3 koosnev elektromagneti südamik, magneti ergutusmähis (pool) 5 ning liikuvad 2 ja liikumatud 1 kontaktid. Elektrivoolu lülitamiseks ettenähtud peakontaktide kõrval on veel abikontaktid juhtimis- ja signalisatsiooniahelate tarbeks. Viimased võivad

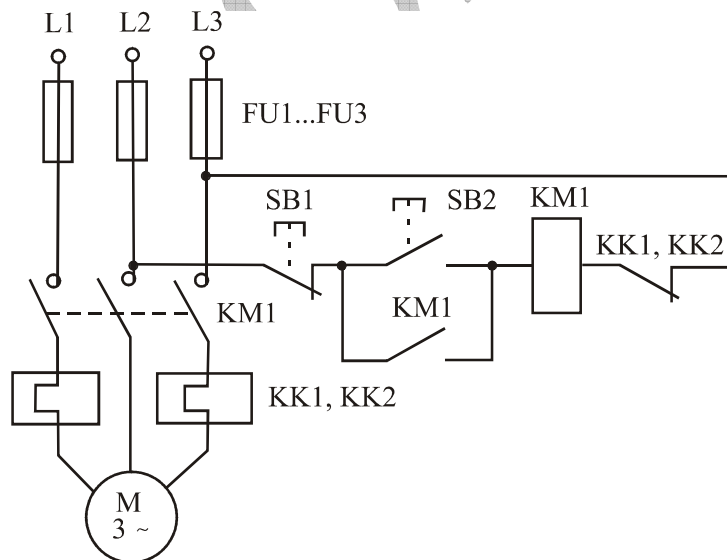
kontaktori sisselülitamisel vooluahela kas sulgeda (sulgekontaktid, a-kontaktid) või avada (lahkkontaktid, b-kontaktid). Kontaktoriks võidakse tinglikult nimetada ka lülitusrežiimis töötavaid elektronseadiseid (nt türistorkontaktoreid).

Kontaktori rakendamise näiteks on lühisrootoriga asünkroonmootori käivituskeem (joonis 3.23), mis võimaldab mootorit sisse ja välja lülitada ning pakub kaitset nii lühiste kui ülekoormuste korral. Mootor käivitatakse käivitusnupule *SB2* vajutamiselega. Tulemusena sulgub ahel, mis ergastab kontaktori mähise *KM1*, ja kontaktori peakontaktid *KM1* sulguvad, käivitades mootori.

Sulgub ka abikontakt *KM1*, tänu millele kontaktorit ergastav vooluahel ei katke ka siis, kui käivitusnupp vabastada. Mootori peatab vajutus seiskamisnupule *SB1*. Ülekoormuse korral rakendub termorelee (liigvoolurelee) *KK1* või *KK2*, mille kontakt avaneb ja katkestab kontaktori ergastusahela, ning kontaktor lülitub välja. Lühise korral rakenduvad sulavkaitsmed *FU1...FU3*.



Joonis 3.22 Kontaktori ehitus

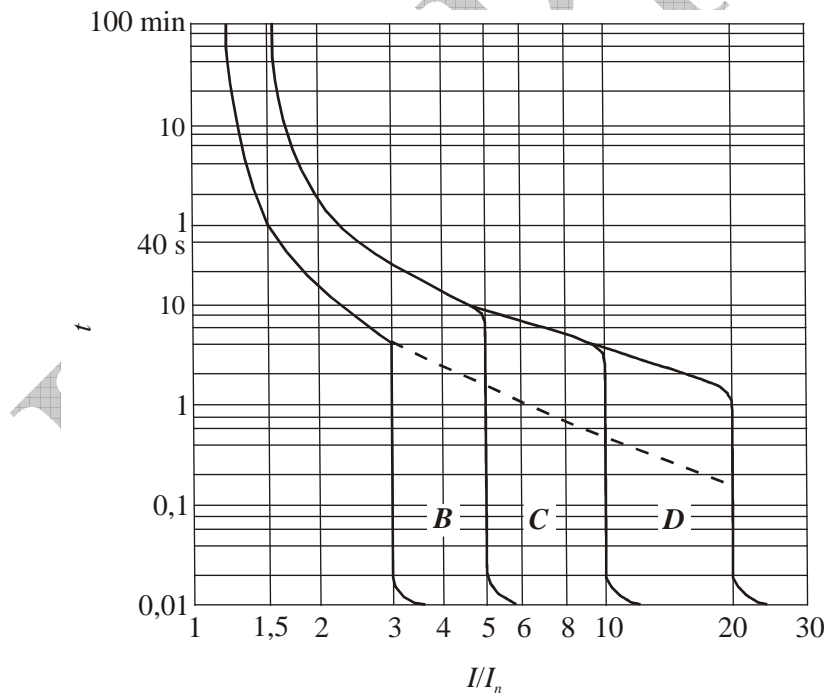


Joonis 3.23 Asünkroonmootori käivituskeem

3.3.2 Liigkoormuskaitse ja lühisekaitse

Kaitset lühiste ja liigkoormuste vastu pakuvad madalpingel sulavkaitsmed ja kaitselülitid ning muidugi ka releekaitse, mis toimib kontaktorite kaudu. Sulavkaitsmeid ja kaitselüliteid valmistatakse mitmeks otstarbeks, ennekõike elektriliinide ja -mootorite kaitseks. Releekaitse võimalused on eriti mitmekesised. Kuna releekaitse toimimispõhimõtted on madal- ja keskpingel sarnased, vaadeldakse neid lähemalt 8. peatükis.

Sulavkaitset iseloomustavad nimipinge, nimivool, lahutusvõime ja rakendustunnusjoon. Nimipinge peab vastama võrgupingele. Kaitsmeid testitakse nimipingest 10% kõrgema pingega. Nimivoolu osas kasutatakse erinevaid standardridasid. Sulari nimivool võib erineda sulavkaitsme nimivoolust – kaitset saab komplekteerida erinevate sularitega. Sular peab olema valitud nii, et selle ristlõige ei taluks suuremat voolu kui kaitstava ahela juhid, ning et ta põleks läbi võimalikult madala vooluga, kuid võimaldaks seejuures kõiki tehnoloogiliselt vajalikke toiminguid ja talitlusi. Lähemalt vaadeldi sulavkaitsmete toimimispõhimõtteid eespool.



Joonis 3.24 Liinikaitselülite rakendustunnusjooned

Kaitselüliteid toodetakse mitmeks otstarbeks. Elektrivarustuses on kasutusel liini- ja mootorikaitselülitid. Rakendustunnusjooned on nendel kaitselülitel erinevad. Liinikaitselüliti on ette nähtud kaablite ja juhtmete kaitseks liigkoormuse ja lühiste eest. Liigkoormuskaitseks on termovabasti, lühisekaitseks

elektromagnetvabasti. Juurde võib olla komplekteeritud ka alapingevabasti. Elektromagnetvabasti rakendumisvoolu järgi eristatakse *B*-, *C*- ja *D*-rakendumistunnusjoonega liinikaitselüliteid (joonis 3.24). *B*-tunnusjoonega kaitselülid on mõeldud peamiselt elamuisestest liinide kaitseks, kus tarvititeks on valgustid, küttekehad ja teised väikese sisselülitusvooluga seadmed. Lüliti peab viivitamatult rakenduma 3...5-kordse nimivoolu juures. Rakendumisaeg peab olema alla 0,1 sekundi. *C*-tunnusjoonega kaitselülid on mõeldud toiteliinide kaitseks, kui seal esineb normaaltöö olukorras suuri voolutõukeid, mis on iseloomulikud suure sisselülitusvooluga tarvititele nagu luminofoorlambid ja elektritööriistad. *D*-tunnusjoonega kaitselülid peavad taluma kuni 10-kordset nimivoolu, 20-kordne nimivool peab olema lahutatud 0,1 sekundiga. Termovabasti rakendumistunnusjoon on kõigil liinikaitselülititel ühesugune ning peab tagama kõrge eluea. Termovabasti peab taluma 1,13-kordset nimivoolu vähemalt ühe tunni, kuid 1,45-kordne nimivool tuleb lahutada ühe tunni jooksul. Seega peavad olema täidetud tingimused

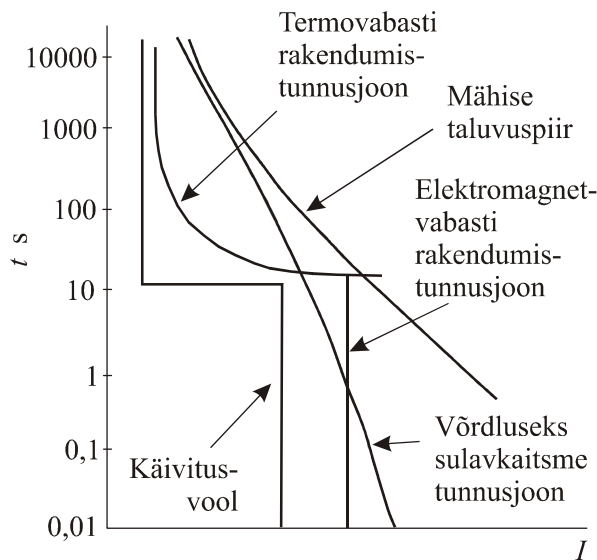
$$I_B \leq I_n \leq I_Z \text{ ja } I_2 \leq 1,45I_Z$$

kus I_B ja I_Z on vastavalt liini normaaltalitusvool ja kestvalt lubatud vool ning I_n ja I_2 kaitseaparaadi nimirakendusvool ja tingrakendusvool (vool, mis tagab aparadi kindla rakendumise etteantud aja jooksul). Nõuded tulenevad muuhulgas kaablite elueast. Nii on PVC-isolatsiooniga kaabli eluiga 20 aastat, kui püsitemperatuur on 70 °C, 90 °C korral aga vaid 2,5 aastat. Liinikaitselüliti nimivool valitaksegi vastavalt juhi kestvalt lubatud voolule. Oluline on, et kaitselüliti taluks arvutuslikku lühisvoolu. Kasutusel on ka selektiivne (*E*-tunnusjoonega) peakaitselüliti, mis rakendub küll lühise korral mõnes madalama taseme toiteliinis, kuid võib tagastuda, kui rakendub rikkis liini kaitselüliti. Sel viisil säilitatakse muude tarvitite toide, mis pole seotud avariilise liiniga. Joonisel 3.25 on firma ABB kolmepooluseline liinikaitselüliti.



Joonis 3.25 Liinikaitselüliti

Mootorikaitselüliti peab kaitsma mootorit lühiste vastu mootori sees ning mähiste ülekuumenemise eest, mis on tingitud välistest põhjustest nagu liigkoormus, liiga sage käivitamine, mittesümmeetriline pinge või puudulik jahutus. Samas peab mootorikaitselüliti võimaldama asünkronmootori otsekäivitamist, kusjuures käivitusvool ületab nimivoolu 4...8 korda. Seetõttu sobib



Joonis 3.26 Asünkroonmootori kaitse

korral. Nii peab mootorikaitselüliti taluma 1,05-kordset nimivoolu vähemalt ühe tunni, kuid 1,2-kordse nimivoolu lahutama enne ühe tunni möödumist. Kui mootorikaitselüliti lülitab 1,45-kordse nimivoolu puhul mootori välja 8 minutiga, siis liinikaitselüliti talub sellist voolu terve tunni. Otsekäivitatava lühisrootoriga asünkroonmootori kaitse tunnusjooni illustreerib joonis 3.26.

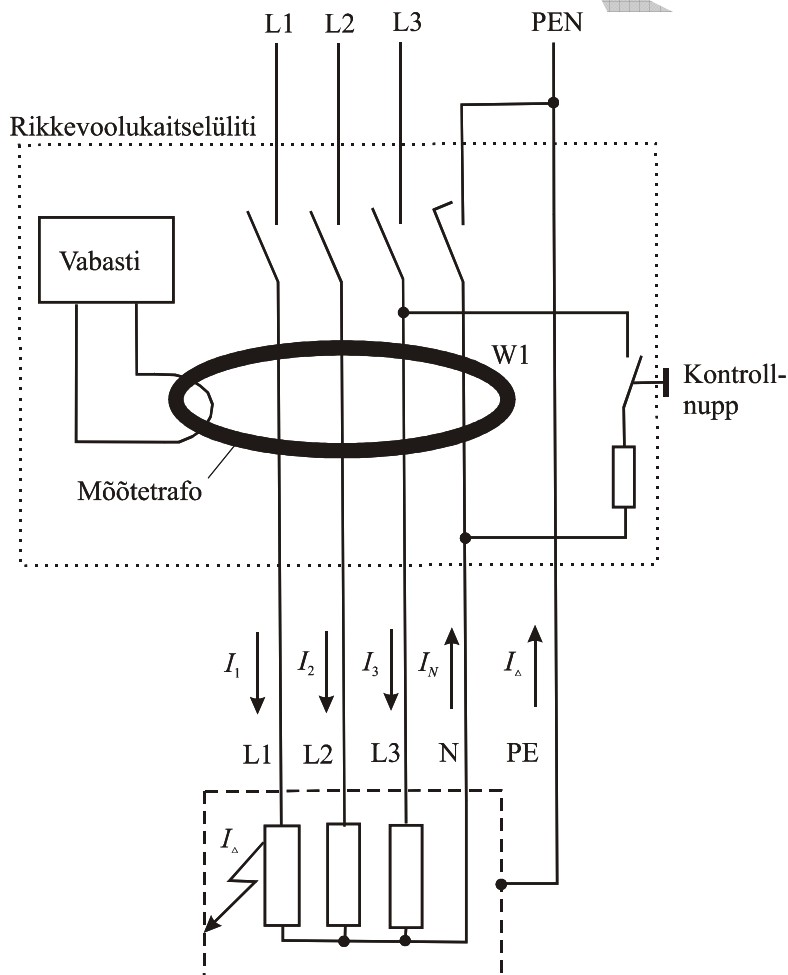
3.3.3 Rikkevoolukaitse

Rikkevoolukaitse (*residual current device, RCD*) on lisakaitse, mis ülekoormus- ja lühisekaitse kõrval on ette nähtud peamiselt inimeste ja loomade kaitseks elektrilöögi eest. Rikkevoolu võib põhjustada isolatsiooni halvenemine, kereühendus elektriseadmes, maaühendus liinis või pingestatud voolujuhtide kokkupuutumine. Juhtide ja maa vahelist voolu nimetatakse lekkevooluks. Korras isolatsiooni puhul on ühe faasi lekkevool suurusjärgus 0,5 mA ja ei kujuta ohtu inimestele.

Rikkevoolukaitse põhimõtteskeem on joonisel 3.27. Kaitse põhiseadmeks on kaitselüliti, mis on varustatud rikkevooluvabastiga. Rikkevoolu suurusst mõõdab trafo WI , mille rõngassüdamiku ava peavad läbima kõik tööjuhgid, mitte aga kaitsejuht. Normaaltalitusel on faasijuhtide ja neutraaljuhi voolude geometriline summa igal hetkel null ning mõõtemähises voolu ei teki. Isolatsiooni-rikke korral tekkiv rikkevool I_{Δ} mõõtetrafot ei läbi, rikkudes sellega voolude tasakaalu. Südamikus tekib magnetvoog, mis indutseerib mõõtemähises voolu. Kui mõõtevool ületab sättesuuruse, vabasti rakendub. Rakendumisvool ja rakendumisaeg peavad ohutuse tagamiseks olema piisavalt väikesed, näiteks 30 mA ja 30 ms.

K-tunnusjoonega mootorikaitselüliti ka teiste voolutõugetega seadmete, näiteks trafode ja akupatareide kaitseks. Sõltuvalt kaitselüliti sarjast on valida 8-, 10- või 12-kordset nimivoolu taluv lüliti. Võrdluseks talub C-tunnusjoonega liinikaitselüliti vaid kuni 5-kordse nimivoolu suurusst voolutõuget ja ei võimalda mootorit käivitada. Veelgi olulisem erinevus on liigkoormuse lahutamisel. Mootorikaitselüliti reageerib palju täpsemalt liigkoormuse

Kirjeldatud põhimõtteskeem vastab AC- ja A-tüüpi kaitselülitele, mis on tundlikud vahelduvrikkevoolule ja pulseerivale alalisrikkevoolule. Silutud alalisrikkevoolule reageerivad B-tüüpi rikkevoolukaitselülid, kus tavalise mõõtetrafo kõrval on lisamõõtetrafo, mis sisuliselt kujutab juhitavat induktiivsust. Rikkevoolu aliskomponent tekitab selles magnetvoo aliskomponendi, mis muudab ahela magnetilist läbitavust, põhjustades voolutaseme muutuse mõõtemähises, mida toidab aparaadis paiknev kõrgsagedusallikas. Erinevalt teistest lülitab rikkevoolukaitselüliti vabasti rakendumisel koos faasisuhtidega välja ka kaitstava ahela neutraaljuhi. Neutraaljuhi kontakt avaneb tavaliselt viimasena, sulgub aga sisselülitamisel esimesena. Testnupuga saab perioodiliselt kontrollida lüliti korrasolekut.



Joonis 3.27 Rikkevoolukaitsese põhimõtteskeem



Joonis 3.28 Rikkevoolukaitaselüliti

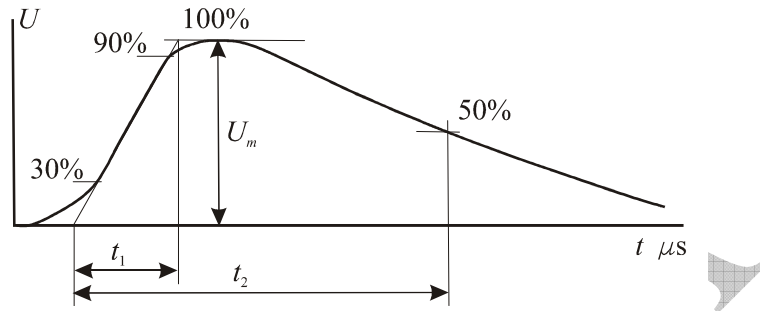
silmas pidada, et rikkevoolukaitse ei kaitse kõigi rikete eest. Sellisteks riketeks on näiteks PEN-juhtme katkemine, elektriseadme kaitsemaandatud osa sattumine pinge alla koos kaitsejuhi samaaegse katkemisega, rikkevoolu teke elektriseadme faasi- ja neutraaljuhi vahel. Rikkevooluvabasti ei reageeri lühisele ega liigkoormusele. Joonisel 3.28 on firma ABB rikkevoolukaitaselüliti.

3.3.4 Liigpingekaitse

Elektripaigaldiste tööd häirivaid liigpingeid liigitatakse kestuse järgi transientliigpingeteks ja ajutisteks liigpingeteks. Transientliigpinged on impulsilise iseloomuga ja kestavad mõne millisekundi. Ohtlik on selliste pingete kõrge amplituudväärtus. Ajutised liigpinged avalduvad võrgusagedusliku sumbuva või mittesumbuva vahelduvpingena. Ohtlik on nende kestus, mis kiiretoimelise liigvoolu-, maatühendus- ja puutepingekaitse olemasolul on enamasti alla 5 sekundi, kuid kaitse puudumisel võivad kesta mõnikümne minutit.

Transientliigpinged tekivad pikselöögi või lülituste tagajärjel. Siia kuulub ka elektrostaatiline liigpinge, mis tekib elektrostaatilise laengu lahendumisel. Lülitusliigpinged tekivad induktiivse iseloomuga ahela väljalülitamisel, aga ka lahenduslampide süüturi rakendumisel või jõuelektroonika kommutatsiooniprotsessis. Madalpingepaigaldistes võib pikseliigpinge ulatuda mõnekümne kilovoldini ning lülituspinge mõne kilovoldini. Pikselöögi korral võib pikseliigpinge kanduda hoonesse elektriliinipidi, aga ka elektromagnetilise induktiooni teel. Ohtlikku liigpinget võivad indutseerida isegi rõhtsad pilv-pilv-välgud. Suhteliselt suur lülitusliigpinge tekib kaitse rakendumisel lühisvoolu tõttu. See ei ületa siiski 3...4-kordset võrgupinge amplituudväärtust ja võib

osutada ohtlikuks vaid mikroelektroonikale. Ka elektrostaatiline liigpinge, mis levib laadunud materjali ja inimese kontakti vahendusel, võib ulatuda mõnekümne kilovoldini. Elektrostaatilise laengu lahenemisel vabanev energia on siiski väike ja inimesele ohutu, küll aga võib see kahjustada mikroelektroonika komponente.



Joonis 3.29 Standardimpulss

Liigpingeimpulss on mitmesuguse kujuga. Aparaatide liigpingetaluvuse määramiseks vaadeldakse impulssi standardisena. Standardimpulssi (joonis 3.29) iseloomustavad amplituud U_m , frondi kestus t_1 ning poolväärtusaeg t_2 – aeg impulsi algusest kuni hetkeni, mil pinge on vähenenud pooleni impulsi amplituudist. Impulssi esitatakse lühidalt murruna t_1/t_2 , näiteks 1,2/50 μs .

Ajutine liigpinge võib tekkida näiteks toitetrafo kõrgpingepoolsel maaiühendusel, TN -võrgu neutraal- või kaitsejuhi katkemisel, IT -võrgu maaiühendusel ning pingeresonantsi ja pingeregulaatori rikke puhul. Ajutine liigpinge ei ületa nimipinget enam kui 1,5...2,5 korda. Seetõttu on oht vaid pikaajalise toime puhul. Kaitseks sobib kaitselüliti, liigpingevabasti või liigpingerelee.

Impulssliigpingetaluvuse järgi jagatakse madalpingeseadmed nelja kategooriasse. Kui võrgu nimipinge on 230/400 V, siis on

I kategooria – erikaitset nõudvad liigpingetundlikud seadmed, eelkõige mikroelektroonika – 1,5 kV

II kategooria – erikaitset mittenõudvad kohtkindlasse võrku ühendatud tarvitid, näiteks kodumasinad ja käsitööriistad – 2,5 kV

III kategooria – kohtkindlad tööstustarvitid, elektrivõrk – 4 kV

IV kategooria – liitumispunkti seadmed, sealhulgas arvestid – 6 kV.

Kui nimipinge on 400/690 V, siis on nõutud impulsspingetaluvus ühe astme võrra kõrgem vastavalt 2,5; 4; 6 ja 8 kV.

Pikse tekitatud liigpingete kaitse taseme iseloomustamiseks jagatakse ehitised **piksekaitsetsoonideks**.

Tsooni 0_A kuuluvad alad, mida võib tabada otsene pikselöök, haarates seega vabas õhus paiknevad seadmed. Siin võib toimida summutamata amplituudiga impulssväli ja välguvool. Liigpinge amplituud võib ulatuda kümnete ja sadade

kilovoltideni. Välguvoolu arvutuslik tippväärtus on 200 kA ja lainekuju 10/350 μ s. Arvestatakse, et 50% välguvoolust kulgeb paigaldise maandusesse, ülejäänud 50% aga jaguneb sellega ühendatud juhtivasse süsteemi, elektrijuhistikku, metalltorustikku.

Tsooni 0_B seadmetele toimib otsene elektromagnetiline väli nagu tsoonis 0_A, kuid ei toimi otsene pikselööök ega sellest indutseeritud liigpinged. Liigpinge väärtuseks arvestatakse 10 kV ning vooluimpulsi lainekujuks 8/20 μ s.

Tsoonis 1 on elektriseadmed kaitstud impulssväljade eest ühekordse varjega, milleks on enamasti ehitiste metallsarrus. Liigpinged on kõigis elektri- ja side-liinides piiratud välguvoolulahenditega.

Tsoon 2 haarab ehitise siseruume. Seda tsooni varjestavad välisseinte kõrvla ka siseseinad ja vahelaed. Arvestada tuleb kaitse poolt piiratud liigpingeid ja ka indutseeritud ja lülitustest tingitud liigpingeid.

Tsoon 3 sisaldab liigpingetundlike tarviteid, mis ise ei genereeri liigpingeid. Liigpinge peenkaitse kõrval kasutatakse selles tsoonis elektromagnetilist varjestamist.

Liigpingepiirikutelt nõutakse nende paigalduskohast sõltuvalt erinevat rakenduspinget ja -kiirust ning vastupidavust voolu soojuslikule ja elektrodünaamilisele toimele. Rahvusvaheline standard (IEC) eristab piirikute nelja tüüpi, millele vastavad DIN-nõueteklassid:

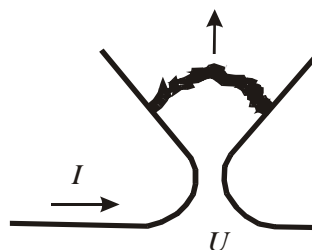
tüüp A (klass A) – õhuliinide piirikud

tüüp 1 (klass B) – ehitise elektrisisendis paiknevad piirikud, mis on ette nähtud peamiselt IV liigpingekategooriasse kuuluvate seadmete kaitseks

tüüp 2 (klass C) – ehitise elektrivõrgus, enamasti jaotuskilpides, paiknevad piirikud, mis on ette nähtud II ja III liigpingekategooriasse kuuluvate seadmete kaitseks

tüüp 3 (klass D) – liigpingetundlike elektritarvite ja toitevõrgu vahel paiknevad piirikud I liigpingekategooriasse kuuluvate seadmete kaitseks (peenkaitseks).

Talitluspõhimõttelt eristatakse kahte tüüpi piirikuid. Esimest tüüpi liigpingelahendid koosnevad ühest või mitmest jadamsi ühendatud sädemikust. Nende kaitsev toime põhineb ahela eri potentsiaaliga punktide lühistamisel. Teise tüüpi moodustavad piirikud, mille aktiivtakistus kiiresti väheneb. Siia kuuluvad varistorid ja laviindiodid, mis liigpingeahelas toimivad pingejagurina.



Joonis 3.30 Sarvlahendi

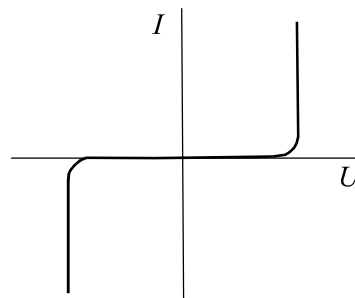
torid ja laviindiodid, mis liigpingeahelas toimivad pingejagurina.

Sädemikes toimub liigpinge korral läbilööök ning tekib elektrikaar. Kuna sädemikku läbib lahen-dusvoolule lisaks ka lühisvool, tuleb see võimalikult kiiresti katkestada. Ehituselt lihtsaim on sarvlahendi (joonis 3.30), kus kaar kustutatakse õhus. Taoline piirik võib välja lülitada voolu kuni

4 kA enne kui 125 A või suurema nimivooluga sulavkaitse rakendub. Nüüdisaegsemad on kaaretükelduslahendid ja gaase mitte väljapuhuvad õhksädemikud. Õhksädemikke kasutatakse *A*- ja *B*-klassi piirikutes. Toimimispõhimõttelt on õhksädemikuga sarnane ka väärisgaaslahendi, mis paikneb neoniga või argooniga täidetud hermeetilises kapslis. Sellised piirikud kuuluvad enamasti *D*-klassi.

Varistoriks nimetatakse takistit, mille takistus sõltub pingest. Tsinkoksiidvaristori tunnusjoon on joonisel 3.31. Varistori rakenduspinge on tunduvalt väiksem kui õhksädemikel ja seetõttu on kaitse liigpinge eest tõhusam. Liigpingeimpulsi möödumisel suureneb varistori takistus kiiresti esialgse väärtuseni. Seetõttu ei saa tekkida õhksädemikele iseloomulikke lahendusvoolule järgnevat lühisvoolu. Varistoridega sarnane tunnusjoon on ka laviindioodidel. Nende rakendumiskiirus on suur ja tunnusjoon püsiv. Puuduseks on väike energianeeldumisvõime, mistõttu lubatud impulssvool on vaid mõnikümmend amprit. Varistore ja laviindioode kasutatakse *B*-, *C*- ja *D*-klassi piirikutes. Joonisel 3.32 on firma ABB neljapooluseline varistoridel toimiv liigpingepiirik.

Liigpingekaitse võimalik rakenduskeem on joonisel 3.33. Hoone liitumispunktis paiknevad seadmed (nt arvestid) peavad vastama IV liigpingekategooriale. Kasutusel on I klassi kuuluvad õhksädemikel põhinevad liigpingelahendid. Jaotuskeskus on kaitstud II klassi kuuluvate varistorilahenditega ning liigpingetundlikud tarvitid varistoridest ja väärisgaaslahenditest moodustatud piirikutega. Siin liigpingekaitse on koordineeritud hoone elektriseadmete liigpingekategooriaga. Kõige kõrgemale, IV liigpingekategooriale peavad vastama liitumispunkti seadmed, kõige madalam, I kategooria võib olla liigpingetundlikel elektritarvititel. Kui hoonel ega selle vahetus läheduses asuvatel teistel ehitistel ei ole piksekaitset ja kui hoonet toidetakse maakaablivõrgust, võib I klassi piirikute asemel kasutada odavamaid II klassi

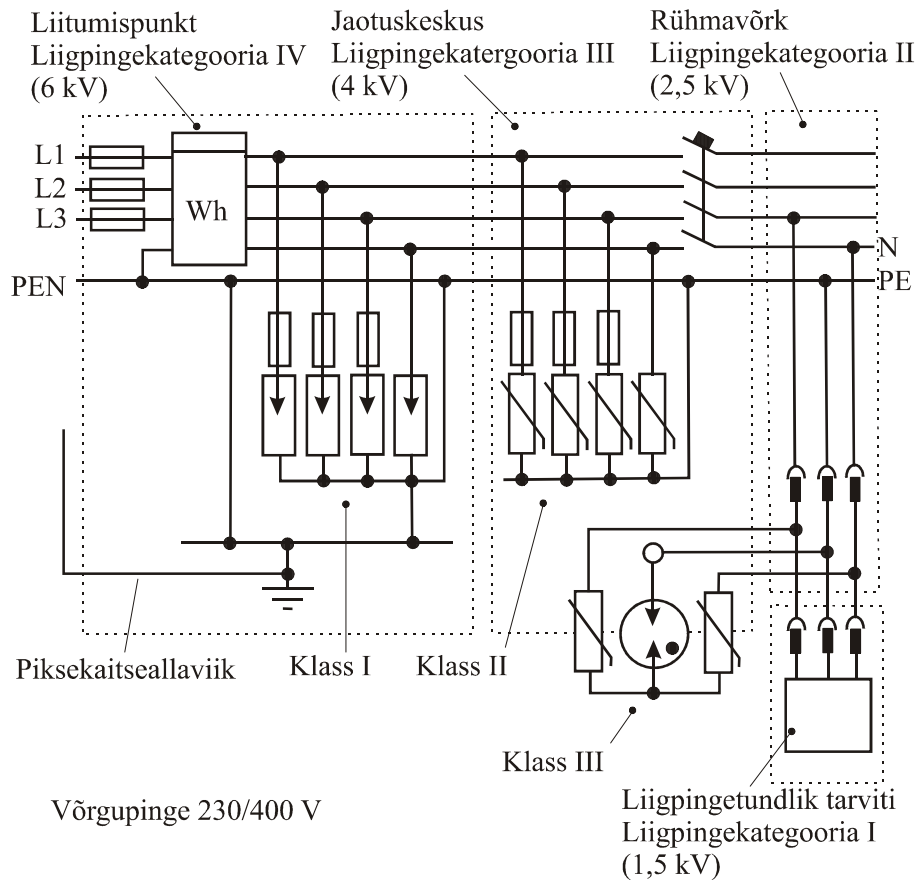


Joonis 3.31 Varistori tunnusjoon



Joonis 3.32 Liigpingepiirik

piirikuid. Tööstus- ja äriettevõtetes võib liigpingepiirikuid ühendada ka arvestist ettepoole.



Joonis 3.33 Liigpingekaitse rakenduskeem

3.4 Madalpingepaigaldised

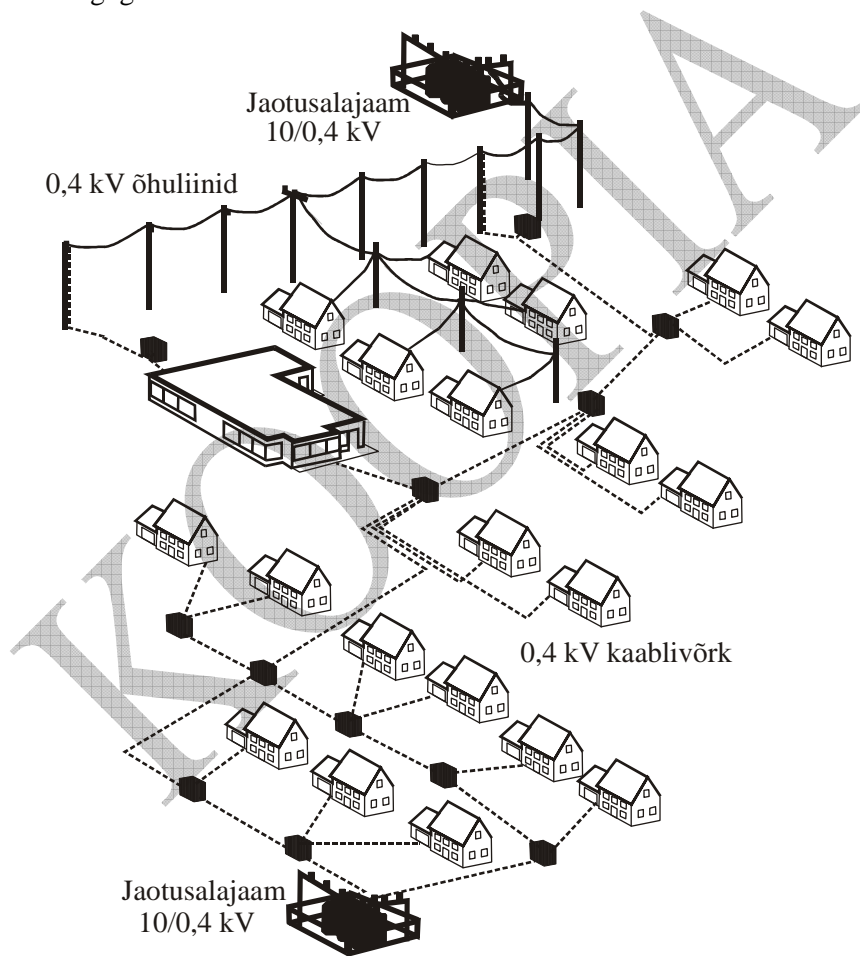
Seadmeid ja rajatisi, mis on vajalikud tarbijate varustamiseks elektriga, võib vaadelda koosnevana kindla otstarbega paigaldistest. Paigaldiste hulka kuuluvad elektriliinid ja juhistikud, lülitus- ja juhtimisaparatuur jm.

3.4.1 Madalpingeliinid

Elektrienergia ülekandmiseks jaotusalajaamast tarbija liitumiskilbini kasutatakse õhu- ja kaabelliine. Õhuliinid on kaabelliinidega võrreldes odavamad ja kiiremini paigaldatavad ning remonditavad, kaabelliinid on aga tunduvalt töökindlamad ning ei häiri elukeskkonda.

Madalpingevõrgud on enamasti radiaalse konfiguratsiooniga, mille tõttu võimalus tarbijate ümberlülitamiseks teise alajaama või fiidri lülituspunkti puudub. Linnades ning tähtsamate tarbijate juures võib reserveerimine olla siiski ette nähtud.

Madalpingelise välisjaotusvõrgu lähtekohaks on jaotusalajaama madalpingepool, kus toimub elektri jaotamine fiidrite vahel ning kaitsmine rikete vastu sulavkaitsmetega või kaitseautomaatidega. Järgnevad õhu- ja kaabelliinid, mis kannavad elektri transiit- ja liitumiskilpideni. Nende kilpide vahendusel on võimalik jaotada võrk liinilõikudeks, teha ümberlülitusi ja ühendada tarbijaid elektrivõrguga.



Joonis 3.34 Piirkonna õhu- ja kaabelliinidega jaotusvõrk

Joonisel 3.34 kujutatud elektrivõrgus on tarbijad ühendatud jaotusalajaamadega nii õhu- kui kaabelliinide kaudu. Õhuliinid on siin nagu enamasti mujalgi radiaalsed, mille tõttu reserveerimise võimalus puudub. Rikke korral võivad

tarbijad jääda elektrita küllaltki pikaks ajaks. Kui alajaamas on kaitse faaside kaupa, siis lülitub välja vaid rikkis faas ja sama liini muud ühefaasilised tarbijad jäävad pingestatuks. Kolmefaasilisi tarbijaid selline olukord ei rahulda. Jaotus-alajaamade vahele võib olla ehitatud õhuliin, mis on liini mingis kohas lahti ühendatud ning seega töötavad mõlema jaotusalajaama fiidrid radiaalsetena. Kui rikke kõrvaldamine ühel õhuliini lõigul võtab liiga palju aega, võib sellise liini ümber ühendada ja selle kaudu tarbijate toide taastada. Enne peab muidugi veenduma, et kõnealust liini ja selle kaitseseadmeid ei koormataks üle ning rikkekoht on teada ja võrgust eraldatud. Joonisel kujutatud 0,4 kV kaablivõrk on seevastu reserveeritud. Ühe kaabli rikke korral on võimalik see kaabel võrgust eraldada ning pingestada tarbijad teiste kaabelliinide kaudu. Peale vigastatud kaabli remonti taastatakse normaalskeem, kus tarbijad on ühendatud optimaalsel viisil võrgukadusid ja elektri kvaliteeti silmas pidades.

Tänapäeval kasutatakse madalpingeõhuliinide ehitamisel peaaesjalikult isoleerjuhtmeid, mis muudab liinid seniste paljasjuhtmeliste õhuliinidega võrreldes tunduvalt töökindlamaks. Ka on isoleerjuhtmete korral liinide gabariidid väiksemad ning väljanägemine esteetilisem. Isoleerjuhtmete kolm faasi keerutatakse ümber kandetrossi, moodustades rippkeerdkaabli (*AMKA*), milles kandetross toimib ka *PEN*-juhtmena. Kasutatakse ka isoleeritud juhtmetega võrdselt kandvate soontega rippkaableid (*EX ALUS*). Enamasti on rippkaablid valmistatud polüeteenisolatsiooniga (*PE*, *PEX*, *PEH*, *XLPE*). Isolatsioon peab elektrilise eristamise kõrval takistama niiskuse levikut nii piki- kui põiksuunas. Õhuliinide isoleerjuhtmete ristlõigete skaalad on tabelis 3.4. *AMKA*-kaabli korral tähistab esimene numbrikombinatsioon faasijuhtide ja teine *PEN*-juhi ristlõiget.

Tabel 3.4 Rippkaablite *AMKA* ja *EX ALUS* ristlõiked mm²

AMKA	1x16 + 25	3x16 + 25	3x25 + 35	3x35 + 50
	4x16 + 25	3x50 + 70	3x70 + 95	3x120 + 95

AMKA eelisristlõiked

Sisestusele	3x16 + 25	
Sisestusele, elamu	3x25 + 35	
Haruliinidele	3x35 + 50	3x50 + 70
Pealiinidele	3x70 + 95	
Pealiinidele asulais	3x120 + 95	

EX ALUS	2x25	4x25	4x50	4x95
----------------	------	------	------	------

Madalpingeliinide mastide materjalina kasutatakse tänapäeval põhiliselt immutatud männipuitposte. Mastid jagunevad kande-, nurga-, ankru-, lõpu- ja hargnemismastideks. Kandemaste kasutatakse sirgetel liinilõikudel, nurgamaste liini käänukohtadel. Ankrumastide ülesandeks on juhtmete kinnitamine pikkade sirgete liinilõikude otsades, juhtme ristlõike muutumisel, lülitusaparatuuri paiguta-

misel mastile, ristumistel magistraalkommunikatsioonidega (magistraalteed, raudteed, magistraalsideliinid) ning muudel juhtudel, kus on vaja vältida kõrvalolevates liiniosades tekkivate vigastuste mõju või juhtme allalangemist. Lõpumaste kasutatakse õhuliini viimase mastina üleminekul kaabelliinile või pingutamata visangule või haruliini alguses koos samale mastile kinnitatud pealiiniga.

Nii nagu kõrgema pingega liinide puhul (p 4.2.1), tuleb ka madalpinge õhuliinide korral tähelepanu pöörata liini trassile, kaitsevööndile ja koridorile. Trassi all mõeldakse liini kulgu tähistavat joont, mille valikul lähtutakse nõuetekohase kaitsevööndi ja liinikoridori võimalikkusest. Kaitsevöönd on ala, mille tehnovõrkude ohtlikkusest ja kaitsevajadusest tulenevalt kitsendatakse kinnistu valdaja tegevust. Vastavalt kehtivale korrale ulatub alla 1 kV liini kaitsevöönd 2 m mõlemale poole liini telge. Liinikoridor on muudest rajatistest ja looduslikest takistustest vaba ruum, millega on normaalolukorras tagatud liini puutumatus ja ohutus. Liinikoridori laiuse määravad lubatud vahekaugused hoonetest, puudest ja tehnorajatistest.

Kaabelliinid on vältimatud tihedasti asustatud linnarajoonides ja mujal, kuhu ei ole võimalik õhuline rajada. Kasutusel on nelja alumiinium- või vasksoonega kaablid, isoleermaterjaliks ekstrudeeritud polüvinüülkloriid (*PVC*) ja polüeteen (*PE*, *PEX*, *PEH*, *XLPE*). Tuleohtlikes ruumides tuleks eelistada tuld mitte levitava (*PVC*) isolatsiooniga kaableid. Kaablite ristlõigete skaala ja kasutatavamad ristlõiked on tabelis 3.5.

Tabel 3.5 Kaablite ristlõigete skaala ja eelisristlõiked mm²

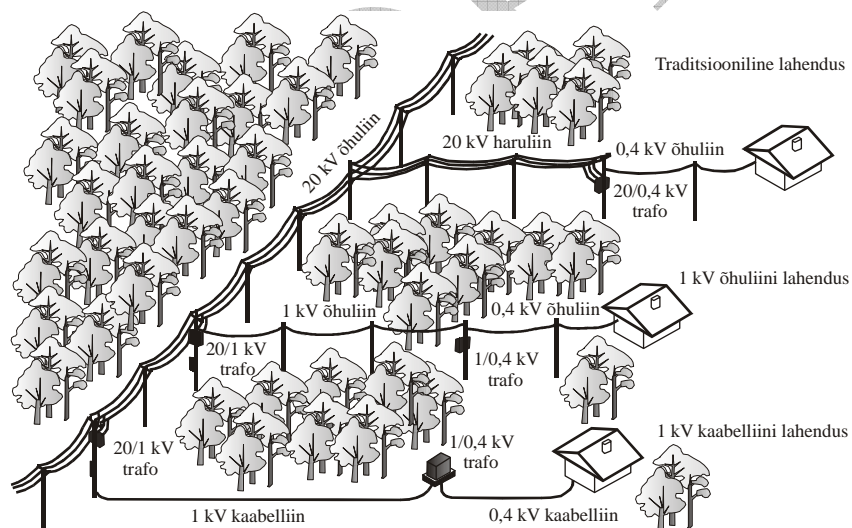
4x16	4x25	4x35	4x50	4x70	4x95	4x120
4x150	4x185	4x240	1x300	1x500	1x800	
4x16	4x25	4x35	4x70	4x120	4x240	

Kaablid paigaldatakse ennekõike pinnasesse. Kaableid võidakse paigaldada kaevisesse, aga rakendatakse ka sisseküüdi või läbisurumist. Kaevisesse paigaldamisel kaevatakse pinnasesse vajalike mõõtmetega kraav. Kaitseks tehakse kaabli alla liivapadi, peale asetatakse telliseid, plaate jm. Kasutatakse ka renne ning terasest, betoonist, keraamilisest materjalist või plastmassist torusid. Sissekünnimeetodil paigaldatakse kaabel masinatega. Pinnas peab olema kivivaba. Kaablitrass ei tohi ristuda teiste tehnorajatistega. Sisse künda tohib vaid tootja poolt selleks ettenähtud kaablit. Kaabli läbisurumist kasutatakse ristumisel raudteega, tiheda liiklusega teedega ja vallidega, kus ei ole võimalik tavapärasel viisil kaablit paigaldada. Võimalik on avapaigaldus, kus kaablid kinnitatakse seintele või mis tahes kandekonstruktsioonidele. Kaableid võidakse paigaldada ka veekogudesse. Selleks sobivad erikonstruktsiooniga kaablid. Kaablid jätkatakse omavahel ja ühendatakse teiste seadmetega jätku- ja otsamuhvide abil.

Õhuliinide (A, AMKA, EX ALUS) ja kaablite (AMCMK, AXCMK) parameetrid on tabelis 3.6. A tähistab siin alumiiniumjuhtmetega paljasjuhtmelist õhuliini.

Tabel 3.6 Õhu- ja kaabelliinide parameetrid

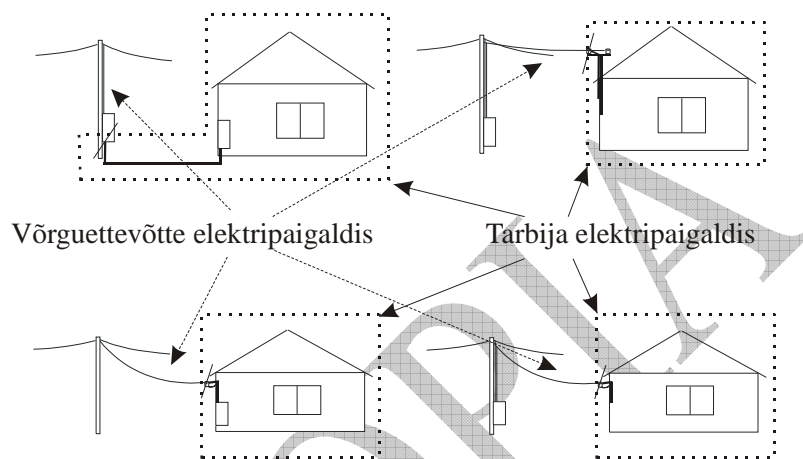
Juhtme mark	Aktiivtakistus +20 °C juures Ω/km	Reaktiiv- takistus Ω/km	Lubatud vool +25 °C juures A	Mass kg/km
A 4x70	0,44	0,81	170	191
A 4x95	0,33	0,79	200	257
AMKA 3x70+95	0,44	0,10	180	990
AMKA 3x120+95	0,36	0,09	275	1400
EX ALUS 4x50	0,37	0,06	110	700
EX ALUS 4x70	0,26	0,06	140	1000
AMCMK 3x185+95	0,16	0,08	330	3700
AMCMK 3x240+72	0,13	0,07	375	4100
AXCMK 3x185+57	0,16	0,07	330	2900
AXCMK 3x95+21	0,32	0,08	220	1750



Joonis 3.35 1000 V pingestme rakendamine jaotusvõrgus

Jaotusvõrgu ülesanne on kindlustada tarbijate töökindel ja kvaliteetne elektritoide minimaalsete kulustega. Võimalik on kombineerida elektri jaotusfunktsiooni kesk- ja madalpingel (p 4.1.1). Uueks suunaks on 1000 V õhu- ja kaabelliinid (joonis 3.35). Sellise konfiguratsiooni korral võiksid madalpingeliinid, kuhu ka 1000 V kuulub, olla pikemad, ilma et elektri kvaliteet ka tavaliste juhtme ristlõigete puhul kannataks. Ollakse arvamusel, et 400 V madalpingefiidri pikkus ei tohiks olla üle 600 m. 1000 V korral võib liinide

pikkus ulatuda sõltuvalt tarbija võimsusest isegi kuni 5 km. Tulemusena väheneks keskpingeliinide pikkus 10...30%. Samavõrra väheneks ka elektrikatkestuste määr, sest 90% katkestustest põhjustavad rikked keskpingeliinidel. 1000 V õhu- ja kaabelliine võib rajada sama tüüpi juhtmetega kui 400 V liine. Tõsi, vajalikuks osutuvad 1000/400 V vahealajaamad, kuid nende maksumuse korvab keskpingeliinide lühenemine.



Joonis 3.36 Võrguettevõtja ja tarbija vahelised piirid

Tarbija ühendatakse elektrivõrguga liitumispunktis, mille asukoht määratakse kindlaks tarbija ja võrguettevõtja vahelise lepinguga. Võrguettevõtte peab kindlustama liitumispunktis kvaliteetse elektritoite. Rikete korral, kui rikkekoht asub võrguettevõtja poolel, on viimane kohustatud selle likvideerima nõutud aja jooksul. Liitumispunktist tarbija poole jäävad rikked likvideerib tarbija oma vahenditega. Liitumispunktiks on enamasti liitumiskilp, mis uutel ehitistel paikneb õhuliini mastil või kaablivõrgu korral kas siis tänaval või suurtel majadel keldris või välisseina ääres. Võrguettevõtja ja tarbijate vahelised piiritlused on joonisel 3.36.



Joonis 3.37 Hammasklemm

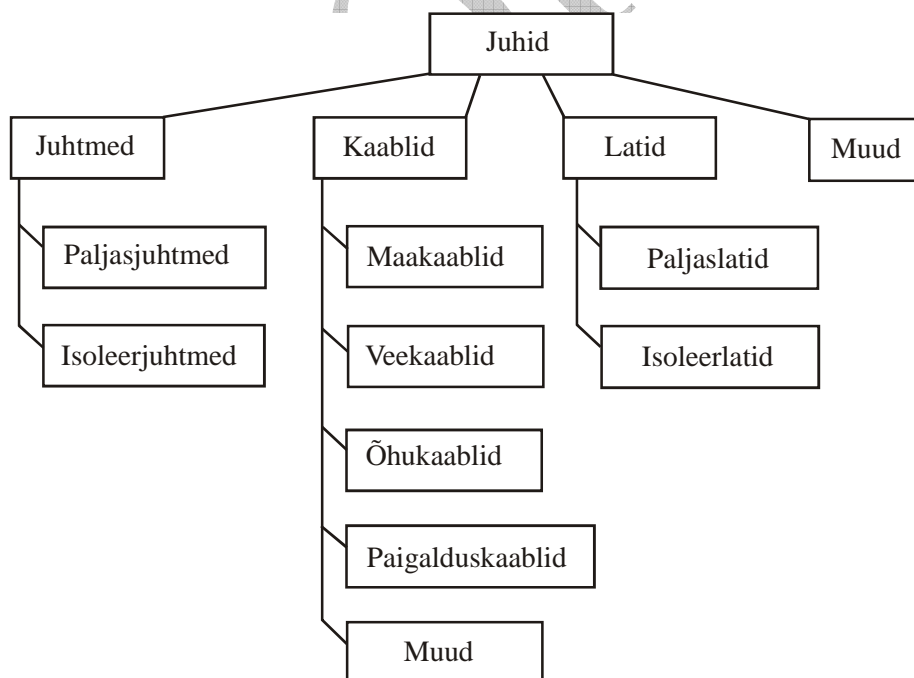


Joonis 3.38 Liigpingepiirik

Madalpingeliinide tarvikutest on joonistel 3.37 ja 3.38 firma Ensto Elekter AS hammasklemm ja liigpingepiirik. Isolatsiooni läbistav hammasklemm on ette nähtud alumiiniumjuhtmete ühendamiseks liinide hargnemisel või jätkamisel. Liigpingepiirikud paigaldatakse mastidele õhuliini hargnemiskohtades ja otstes.

3.4.2 Juhtmed ja kaablid

Ehitistes kasutatakse elektrienergia edastamiseks peaausjalikult juhtmeid ja kaableid, tööstuses ka lattiline. Et tagada vajalikku töökindlust, on elamutes kasutusel vaskjuhtmed ja -kaablid. Alumiiniumjuhtmed, mida meil varem kasutati, ei ole kehtivate standardite kohaselt enam lubatud. Juhtmes või kaablis võib olla üks või mitu isolatsiooniga (enamasti polümeermaterjaliga) kaetud massiivset või kiulist elektrijuhti, mida nimetatakse **sooneks**. Kohtkindlas juhistikus on soonte juhtiv osa enamasti massiivne või jämedakiuline, teiseldatavates juhtmetes ja kaablites (paindjuhtmetes ja -kaablites) on sooned peenekiulised. Kaablisooned on ümbritsetud neid välismõjude eest kaitsva hermeetilise kestaga, **mantliga**. Ka mõned juhtmed (manteljuhtmed) võivad olla mantliga. Ühesooneline õhuliinijuhe, võib olla ka ilma isoleerkatteta. Töökindluse huvides on aga nii madal- kui keskpingeliinides hakatud järjest enam kasutama õhukaableid. Elektrijuhtide liigitus on joonisel 3.39.

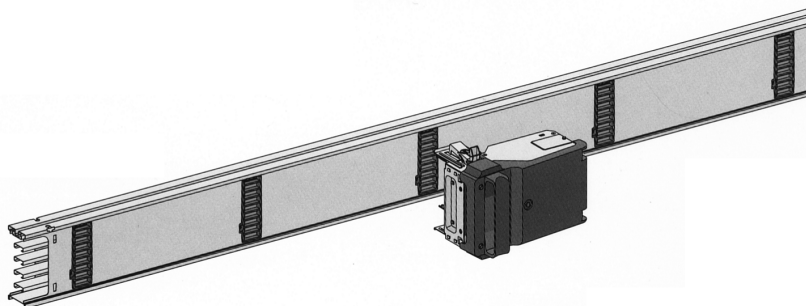


Joonis 3.39 Juhtide liigitus

Juhtme- ja kaablisoonte isolatsioon on erivärviline vastavalt soonte otstarbele. Kolla-rohelise triibuga soont tohib kasutada üksnes kaitse- (*PE*-) või *PEN*-juhina, sinist soont neutraaljuhina (*N*) ning pruuni, musta ja halli faasijuhtidena. Kuue või enama soonega juhtmetes ja kaablites võidakse värvtähistuse asemel kasutada pealetrükitud numbritega musti sooni, kuid kaitsejuht on alati kolla-rohelise triibuga.

Juhtmete ja kaablite tähisel püritakse näidata nimipinget, ristlõike ning soonte arv, ehitus ja isolatsioon. Kasutusel on rahvusvaheliselt harmoniseeritud tähised, mis algavad tähega *H* või ka *A*, kui juhtmeid või kaableid lubatakse kasutada vaid mõnel maal. Paljudes riikides jätkatakse ka harmoniseerimata tähistega juhtmete tootmist.

Juhtmete ja kaablite valikul tuleb lisaks piisavale ristlõikele pöörata tähelepanu nende kaitstusele mehaaniliste ja keemiliste toimete, temperatuuri ja päikese mõju ning muude kahjulike olude eest. Lühidalt on Eestis kasutatavaid juhtmeid ja kaableid kirjeldatud tabelis 3.7.



Joonis 3.40 Lattliini lõik





Juhtmete ja kaablite kõrval võidakse kasutada ka lattliine. Lattliin on metallkarbikusse paigutatud voolujuhtide pakett. Seadmete ja kaitsmete ühendamiseks on pesad, kuhu kinnitatakse väljavõtuplokid. Eristatakse magistraal- ja jaotusliine. Lattliine võib paigaldada hoones lakke, põrandale või seinale. Joonisel 3.40 on lõik firma Schneider Electric Eesti AS lattliinist *Canalis*. Näha on viite väljavõtupesad ning kaitseplokki. Lattliinide eeliseks kaabelliinidega võrreldes on ruumi, paigaldusaja ja materjalide kokkuhoid. Vajaduse korral saab lattliine ümber paigutada.

Juhtmete ja kaablite ehitus ja paigaldusviis peavad tagama nende kaitse mehaaniliste kahjustuste eest. Eristatakse kohtkindlaid ja teisaldatavaid juhte. Kohtkindlatel juhtidel tuleb murdeohtlikes kohtades kasutada lisakaitset, näiteks peale tõmmatavat plasttoru.

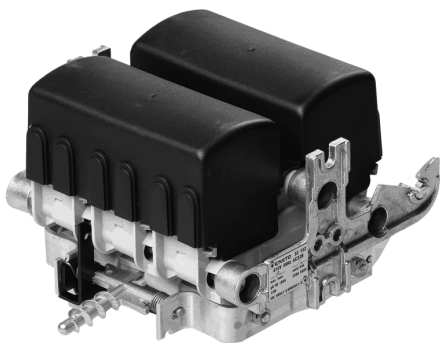
Voolu toimel juhid kuumenevad. Liigkuumenemist saab vältida õigesti valitud liigkoormuskaitse abil. Kestvalt lubatud koormusvool määratakse IEC-standar-

deis **tüüppaigaldusviiside** järgi, mille põhimõtted on tabelis 3.2. Juhtmete ja kaablite kestvalt lubatud voolud leiab tüüpsete paigaldusviiside jaoks vastavaist

Tabel 3.7 Juhtmete ja kaablite kasutamine

Juhe või kaabel	Iseloomustus
 <p>Juhe PL / ML / H07V-U</p>  <p>Juhe PK / MK / H07V-R</p>	<p>PVC-isolatsiooniga vasksoontega juhtmed kohtkindlaks paigaldamiseks pinnapealsetes või süvistatud torudes, karbikutes või muudes kinnistes paigaldustarindites. Ei tohi paigaldada vahetult kaabli-riiulitele, -rennidele ja -redelitele.</p>
 <p>Juhe PPJ / MMJ</p>	<p>Mehaaniliste vigastuste eest kaetud PVC-kaitsekestaga (sellest nimetus manteljuhe). Ei tohi paigaldada vette ega pinnasesse.</p>
 <p>Jõukaabel AXPK / AXMK</p>  <p>Jõukaabel AMCMK</p>	<p>Alumiiniumsoontega, võrkpolüeteenisolatsiooniga ja PVC-mantliga kaablid. Kohtkindlaks paigaldamiseks nii sise- ja välispaigaldistesse kui ka pinnasesse. Sobib rasketes oludes, kuid peab olema kaitstud mehaanilise toime eest. Kaablitel on erinevusi isolatsiooni, temperatuuri ja tulekindluse osas. Ristlõige alates 16 mm².</p>
 <p>Jõukaabel MCMK (väikse ristlõikega)</p>  <p>Jõukaabel MCMK (suure ristlõikega)</p>	<p>Vasksoontega, PVC-isolatsiooniga ja PVC-mantliga kaablid. On ette nähtud kohtkindlaks paigaldamiseks sise- ja välispaigaldistes, pinnases, ka valatuna betooni. Ei sobi paigaldamiseks elektrilist varjestust nõudvates oludes. Väikse ristlõike korral on kaablis 3...5 soont ristlõikega 1,5...16 mm². Suurim ristlõige on 25...300 mm².</p>
 <p>Jõukaabel MCCMK / EMCMK</p>	<p>PVC-isolatsiooniga ja PVC-mantliga häirekindel, varjestatud soontega kaabel. Toodetakse nii vask- kui alumiiniumsoontega.</p>

standardeist. Tegelikud paigaldusviisid võivad tüüpsetest ühel või teisel määral erineda. Enamik tegelikest paigaldusviisidest saab taandada tüüpseteks standardites esitatud näidete abil.



Joonis 3.41 Mastilüliti

Juhistikku kuuluvaid liine kaitstakse võimalike liigkoormus- ja lühisvoolude toime eest sulavkaitsmetega või kaitselülititega. Kasutatakse kiiretoimelisi sulavkaitsmeid, mille tähis rahvusvahelistes standardites on gG , või kaitselüliteid, mille rakendumistunnusjoone tähis on B (p 3.3.1). Kui juhistiku liigvoolukaitseaparatuurid tunnusjoonte poolest ei sobi mõne juhistikust toiditava seadme (nt asünkroonmootorite) kaitseks, tuleb neid kaitsta omaette kaitseaparatuuridega. Joonisel 3.41 on firma Ensto Elekter AS mastilüliti, mida kasutatakse madalpingevõrkude kaitsmiseks. Lülitis on ühendatud sulavkaitsme ja vinnaküliti funktsioonid. Lüliti opereerimine toimub maapinnalt isoleerkepi abil.

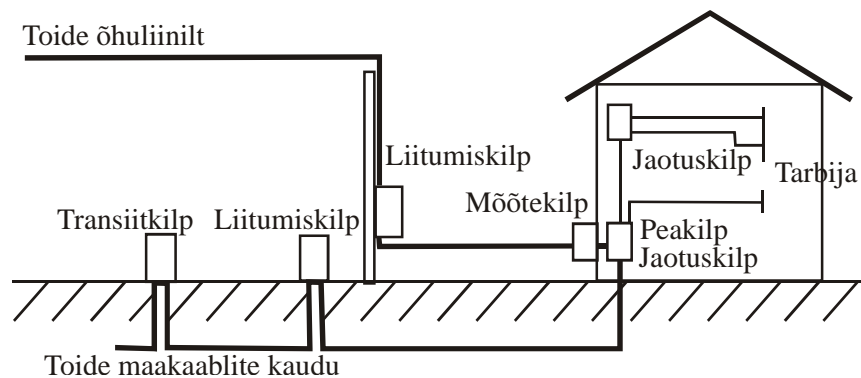
Välismadalpingevõrgu kaitsmiseks kasutatakse jaotusalajaamades asuvaid fiidri kaitseseadmeid, milleks on sulavkaitsmed ja automaadid. Tuleb rõhutada, et madalpinge kaitseseadis peab kindlalt rakenduma ühefaasilise lühise korral kaitstava löigu lõpus. Selleks peab igas faasijuhis olema kaitseseadis. Koos üldnõuetega mõjutavad madalpinge kaitseseadme sätete valikut kaitstavale juhtmele lubatud vool, koormusvool, toidetava elektrimootori käivitusvool, kontaktori olemasolu kaitstavas ahelas ja tundlikkus lühisele. Lisaks alajaamas asuvatele kaitseseadmetele võivad kaitseseadmed asuda ka pikkade õhuliinide hargnemiskohtades, transiitkilpides ja mujal, kus selleks on tarvidus.

3.4.3 Elektrikilbid

Elektrikilp on ehitise või elamupiirkonna elektrienergia jaotamise seade. Kilpi võivad kuuluda lülitid vooluahelate kommuteerimiseks, sulavkaitsmed ja liigvoolu- või rikkevoolukaitselülitid inimeste ja aparatuuri kaitseks, kontrollereid seadmete juhtimiseks, arvestid tarbitava energia mõõtmiseks, lisaks reguleerimis- ja signalisatsiooniseadmed. Kilbil on enamasti üks sisend, väljundite arv sõltub vajadusest.

Eristatakse transiit-, liitumis-, mõõte-, jaotus-, klemm- jm kilpe. Mõne kilbi otstarvet ja paigalduspõhimõtet on kujutatud joonisel 3.42. Kaablijaotus- ehk transiitkilbid paigaldatakse enamasti väljapoole kinnistu territooriumi või selle piirile ja need on ette nähtud madalpingeliinide sisse- ja väljalülitamiseks ning

tarbija toiteliinide kaitseks. Sellest kilbist viiakse kaabel liitumiskilbini. Sageli on kilbis nii transiit- kui ka liitumisosa, mis paiknevad ühises ümbrises, kuid on teineteisest vaheseinaga eraldatud ja varustatud kumbki omaette uksega.



Joonis 3.42 Hoonesisendiga seotud kilbid

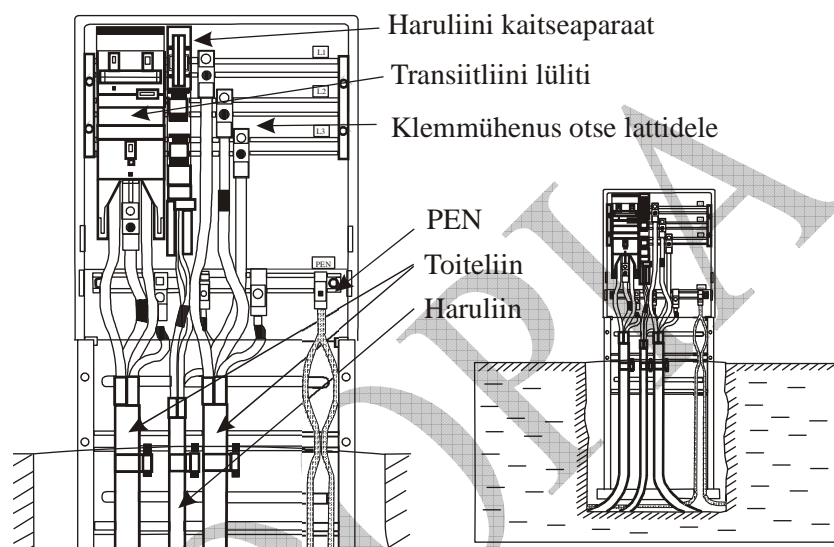
Liitumiskilp paigutatakse elektri müüja ja tarbija vahelisse liitumispunkti, et mõõta elektrienergia kulu, fikseerida lepingulist voolu, kaitsta vooluahelaid ja võimaldada vajalikke lülitamisi. Liitumiskilp on elektri müüja (nt Eesti Energia) omand. Liitumiskilbist viiakse kaablid elamu jaotuskilbini. Liitumiskilbiga sarnased funktsioonid on arvestus- ehk mõõtekilbil. Kilpi kasutatakse tarbija või tarbijarühma elektri kulu mõõtmiseks pärast liitumiskilpi. Kui mõõtekilp ise ei täida samal ajal jaotuskilbi funktsioone, veetakse sellest kaablid jaotuskilbini.

Jaotuskilp on territooriumi või ehitise keskne jaotus- ja lülitusseadmete kompleks koos juurdekuuluvate kaitse-, juhtimis- ja muude seadmetega, ümbriste ja tarinditega. Jaotuskilpi siseneb üks või mitu toiteliini ja sellest väljuvad hoone osade või üksikseadmete toiteliinid. Kilpi, millesse toitekaablid tuuakse otse madalpingevõrgust, nimetatakse ka peakilbiks. Klemmkilp on vahepunkt liinide harundamisel. Kilp sisaldab peamiselt klemme, mida kasutatakse nii tugev- voolu- kui telekommunikatsiooniliinide ühendamiseks.

Kilbi kaitstust pingestatud osade puudutamise eest ning tahkete võõrkehade ja vedelike sissetungimise eest iseloomustab kaitseaste (*IP*-kood). Kaitseastmest sõltub, kuhu kilp paigutatakse (nt siseruumidesse või välja). Arvestatakse ka seda, kas kilpi hakkavad hooldama väljaõppe saanud elektrikud või pääsevad selle juurde ka tavaisikud. Sisekilpide kaitseaste peab olema vähemalt *IP2X*. Kui kilp ei asu niiskes ega tolmeses ruumis, piisab, kui kaitseaste on *IP20*. Väliskilbi kaitseaste peab olema vähemalt *IP23*. Väliskilp peab vastu pidama mitmesugustes ilmastikuoludes. Kasutamiseviisilt võivad kilbid olla kohtkindlad või teisaldatavad.

Madalpingekaablivõrkudes kasutatakse võrguosade eraldamiseks ja väljavõtete tegemiseks transiitkilpe. Tarbijate ühendamiseks elektrivõrguga on liitumis-

punktis mõõtekilbid, kus asetseb lülitus- ja mõõteaparatuur. Mõõtekilbid võivad madalpingevõrguga olla ühendatud otse (õhuliinidega võrgud) või transiitkilbi kaudu (kaablivõrgud). Transiitkilbid paiknevad tänava äärtes või majades. Tänapäeval rekonstrueeritavates ja ehitatavates kaablivõrkudes pannakse transiit- ja ka mõõtekilbid tänava äärde, et oleks võimalik neile ligi pääseda, kui on vaja teha lülitusi või vaadata arvestinäitusid. Õhuliinidega võrkudes on tavaks paigutada mõõtekilbid kinnistu piirile õhuliini mastile.



Joonis 3.43 Transiitkilbi võimalik konstruktsioon

Transiitkilbid on suhteliselt lihtsa ehitusega (joonis 3.43). Enamjaolt on kilbil kaks sisendit ning üks väljund mõõtekilbi tarvis. Mõõtekilbi poole mineval ühendusel on kaitseseade. Mõõtekilpides on tavaliselt sisend transiitkilbist või liinist, üks pealüliti ja arvesti ning väljund tarbija elektriseadmesse. Mõõtekilp kuulub võrguettevõtjale ning on lukustatud. Välistingimustes kasutatav mõõtekilp peab olema valmistatud ilmastikukindlast materjalist (tsingitud metall, alumiiniumkest või plast) ja omama soovitatavalt UV-kindlat värvkatet. Samas peab kilp olema ventileeritav ja võimaldama kondensvee äravoolu. Sisetingimustes peaks kilbi kaitseaste olema vähemalt *IP 20* ja välistingimustes *IP 34D*. Tagamaks mitteohuteadlike isikute ohutust peakaitseüliti lülitamisel peab mõõtekilbi kogu juhtmestik olema kaitsekatte taga. Lisaks peab olema tagatud arvestini kulgeva juhtmestiku plommitavus. Plommitavad peavad olema ka arvesti klemmliist, programmikell ja peakaitsmed. Mõõtekilbi paigaldamisel ei tohi ära unustada tema maandamist, mis on sätestatud eeskirjadega. Joonisel 3.44 on firma Ensto Elekter AS transiit- ja liitumiskilbid.



Joonis 3.44 Transiit- ja liitumiskilbid

Peakaitsemena kasutatakse liitumispunktis kas C-rakendustunnusjoonega liigkoormuskaitseülililit või kiiretoimelist gG-klassi sulavkaitset. Liitumispunkti peakaitse suurus on määratud tarbija ja võrguettevõtja vahelise võrguühenduslepinguga. Kilbi juhtmestiku paigaldamisel tuleb lähtuda põhimõtetest, et kollarohelise markeeringuga soont tohib kasutada üksnes kaitse- (PE) või ühitatud kaitse- ning neutraaljuhina (PEN), helesinise markeeringuga soont tuleb eelkõige kasutada neutraaljuhina (N) ning ülejäänud markeeringutega juhtmeid faasijuhtidena. Kilbisiseses juhtmestikuna tuleks kasutada vaskjuhtmeid ristlõikega 6 mm² peakaitsete nimivooluga kuni 32 A; 16 mm² juhtmeid peakaitsete nimivooluga kuni 62 A ja 25 mm² juhtmeid peakaitsete nimivooluga kuni 100 A. Juhtmed ja kaablid ühendatakse omavahel spetsiaalsete alumiiniumklemmidega.

3.5 Valgustus

Nii tööl kui kodus on inimesel vaja valgust. Valgus ei tohi olla liiga nõrk ega liiga tugev, ebamugav ega häiriv. Valgustuseks kulub maailmas ligikaudu 10% elektrienergiast. Valgusallikana kasutatakse hõõglampe, lahenduslampe ja valgusdioode. Valgusallikad paiknevad valgustusvahendeis, milleks on valgustid, prožektorid, projektorid ja valgussignalisatsioonivahendid.

3.5.1 Valgustustehnika põhimõisted

Elektrivõrku ühendatud valgusallikas, elektrilamp, muundab elektrienergia kiirguseks, millest vaid osa on inimesele nähtav valgus. Valgusallika poolt kiiratava valguse määra, **valgusvoogu**, mõõdetakse luumenites² (lm). Valgusvoo Φ ja tarbitud võimsuse P suhet

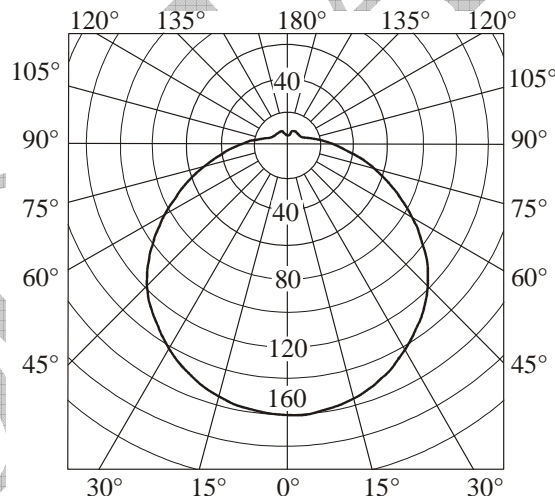
$$\eta = \frac{\Phi}{P}$$

nimetatakse **valgusviljakuseks** mõõtühikuna lm/W. Tavaliste hõõglampide valgusviljakus on 10...15 lm/W, lahenduslampidel 40...100 lm/W.

Valgusvoo suundtihedus, **valgustustugevus**, on valgusvoog Φ ruuminurga Ω kohta

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}$$

mõõtühikuna kandela³ (cd). Kuna valgusallikat ümbritsev ruuminurk tervikuna on $4\pi \approx 12,5$ sterradiaani (sr), siis valgusallika keskmine valgustustugevus on $\Phi/12,5$ cd. Enamasti ei jaotu valgus ruumis ühtlaselt, vaid koondatakse valgustite abil. Valgusteid isoleerustatakse seetõttu valgusjaotuskõveratega, mis näitavad, kuidas valgustustugevus oleneb suunast. Joonisel 3.45 on näide valgusjaotuskõverast mõõtühikuna cd/klm.



Joonis 3.45 Valgusjaotuskõver

Valgusvoo Φ tihedust valgustataval pinnal A (joonis 3.46) nimetatakse **valgustustiheduseks** ühikuna luks⁴ (lx). Kui valgusallika valgustustugevus mingi valgustatava punkti suunas on teada, saab valgustustihedust arvutada valemiga

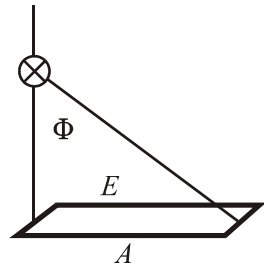
$$E = \frac{I \cos \vartheta}{l^2}$$

kus I on valgustustugevus, l valgusti kaugus valgustatavast pinnast ja ϑ nurk valguse suuna ja valgustatava pinna ristsirge vahel (joonis 3.47). Kui küünlaga,

² Ladina keeles *lumen* tähendab valgust.

³ Ladina keeles *candela* tähendab küünalt. Küünla valgustugevus ongi umbes 1 cd.

⁴ Sõna luks tuleb samuti ladina keelest (*lux*) ja tähendab valgust, kuid mõnevõrra teistsuguses tähenduses kui *lumen*.

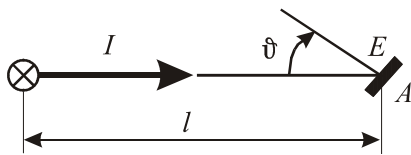


Joonis 3.46 Valgustustiheduse mõiste selgitus

mille valgustustugevus on 1 cd, valgustada 1 m kaugusel olevat pinda, mis on valguse suunaga risti, siis on valgustustihedus 1 lx. Sageli on vaja määrata valgustustihedust rõhtpinnal (joonis 3.48). Sel juhul saab arvutusvalem kuju

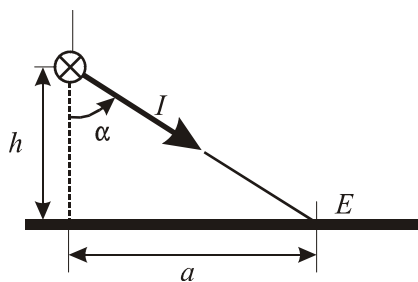
$$E = \frac{I \cos \alpha}{h^2}$$

Siin on I valgustustugevus püstsuunas, h valgusti kõrgus pinnast ja α nurk püstsuuna ja valgustustugevuse suuna vahel.



Joonis 3.47 Valgustustiheduse määramine

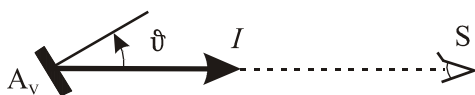
Valgustustihedust saab mõõta luksmeetriga, mis koosneb valgusele reageerivast fotoelemendist ja milliampere-meetrist. Ruumides, kus inimesed kestvalt viibivad, peab keskmine valgustustihedus olema vähemalt 200 lx.



Joonis 3.48 Valgustustihedus rõhtpinnal

Lugemiseks ja kirjutamiseks on tarvis keskmist valgustustihedust olenevalt kirja suurusest ja inimese vanusest 300...500 lx, peentöödeks aga kuni 1500 lx. Et vältida silmade väsimist pilgu liikumisel töökoha (nt töölaua) ühelt osalt teisele, peab valgustus kogu töökoha ulatuses olema piisavalt ühtlane. Valgustusstandardites nõutakse, et vähima ja keskmise valgustustiheduse suhe ei oleks väiksem kui

0,7. Ka nõutakse, et töökoha lähikümbruses (vähemalt 0,5 m kauguseni) ei tohi valgustustihedus olla rohkem kui ühe standardistme võrra väiksem kui töökohal, kusjuures valgustustiheduse ühtlus peab olema vähemalt 0,5. Ruumides, kus inimesed viibivad vaid ajutiselt, võib valgustustihedus olla väiksem, näiteks treppidel 150 lx, panipaikades 100 lx, vannitubades ja tualettruumides 200 lx.



Joonis 3.49 Heleduse mõiste selgitus

Inimese silmale ei toimi mitte nägemisvälja valgustustihedus, vaid selle keskmine ja eri osade **heledus**. Heleduse all mõistetakse valgusallikast või muu eseme

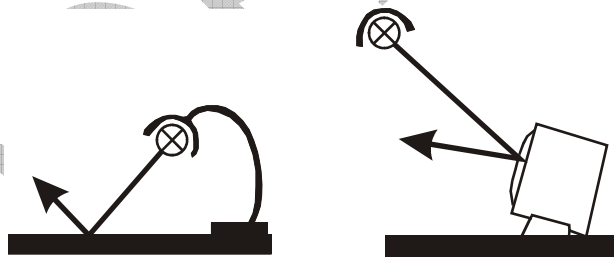
pinnalt silma suunas lähtuva valgustustugevuse I ja valgust andva pinna A_v projektsiooni suhet

$$L = \frac{I}{A_v \cos \vartheta}$$

kus ϑ on nurk valgustustugevuse suuna ja valgustandva pinna ristsirge vahel (joonis 3.49). Heleduse ühikuks on cd/m^2 .

Silmaava läbimõõdu muutmise ja võrkkesta taga asuva pigmendikihi omaduste reguleerimise teel kohaneb (adapteerub) inimsilm automaatselt nägemisvälja keskmisele heledusele, mida seetõttu nimetatakse adaptatsiooniheleduseks. Kohanemine võtab aega ja kui ümberkohanemine teistsugustele heledusoludele toimub tihti, väsitab see silmi. Et silmi hoida, peab heledusjaotus ruumis olema ühtlane. Enamasti saavutatakse see ruumide piisavalt hea üldvalgustusega. Et esemeid ja nende elemente ära tunda, peab nende heledus olema teistsugune kui tausta heledus. Teiste sõnadega, ese peab olema tausta suhtes piisavalt kontrastne.

Nägemisväljas asuvate esemete või valgusallikate liiga kõrge heledus võib tekitada ebamugavust, **diskomforti**, või silmade pimestust, **räigust**. Silmade ebamugavuslävi on sisevalgustusoludes $2...5 \text{ kcd}/\text{m}^2$, valulävi aga ligikaudu $30 \text{ kcd}/\text{m}^2$. Et vältida silmade rikkumist, ei tohi valulävest kõrgema heledusega esemeid, valgusallikaid ega pindu nägemisväljas olla. Nii on tähtis, et nägemisväljas ei oleks hõõglampide hõõgniite, sest nende heledus võib ulatuda kuni $10 \text{ Mcd}/\text{m}^2$. Silmadele on ohtlik isegi hõõgniidi peegeldus läikivalt pinnalt (joonis 3.50) Et vältida pimestust ja silmade kahjustumisohtu, tuleb elektrivalgustuses kasutada valgusteid, milles hõõglampi ei ole ühestki suunast näha, ning eelistada matt- või piimklaasist kolviga lampe, ka luminofoorlampe.



Joonis 3.50 Pimestava peegelduse tekke näiteid

Et valgustus mõjuks meeldivalt, on väärvalgustustiheduse ja räiguse välistamise kõrval vaja silmas pidada veel rida asjaolusid, nagu valguse õiget suunda, sobivat varjumoodustust, valguse õiget värvitooni, moonutustevaba värviesitust jm. Valguse õige suund ja sobiv varjumoodustus saavutatakse valgustite paigutusega ja teisaldatavate valgustitega. Luminofoorlampide valguse värvitooni väljendatakse sõnadega ja **värvustemperatuuriga**: soevalge – 3300 K, tava- ehk keskmiselt valge – 3300...5300 K, külm- ehk päevavalge – üle 5300 K. Hõõglampide värvitoon on soevalge.

Lambi värviesitusomadusi iseloomustatakse **värviesitusindeksiga**, mille suurim väärtus on 100. Värviesitusindeksi kohaselt võib valida luminofoorlampe. Eluruumides, ametiasutustes ja enamikul tööstustöödel on soovitatav värvi-

esitusindeks 80. Täpsemat värvituvastust nõudvate tööde korral tuleks kasutada lampe, mille värviesitusindeks on vähemalt 90. Hõõglampide puhul värviesitusindeksit enamasti ei kasutata.

Valguse **värelus** on iseloomulik kõigile lahenduslampidele, mida läbib võrgusageduslik vahelduvvool. Voolu igal poolperioodil muutub lambi valgusvoog minimaalväärtusest maksimumväärtuseni, kõikides keskväärtusest mõlemale poole 30...50 % kahekordse võrgusagedusega (100 Hz). Inimene sellise sagedusega värelust ei märka, kuid see kandub siiski nägemiselunditesse ja võib esile kutsuda haigusnähtusi. Värelust saab vähendada sel teel, et valgustis on kaks lampi, mille voolud on teineteise suhtes ajaliselt nihutatud, nii et valguse värelus ei ületa 10...20%. Ka see on pingeliste nägemistööde korral liiga kõrge, mistõttu luminofoorlampe on hakatud tootma sagedusmuundurite kaudu, mille väljundsagedus on 30...50 kHz. Sellisel sagedusel ei esine valgusvärelust. Hõõglampidel on valguse värelus konstantse pinge korral piisavalt nõrk. Mittekvaliteetse pinge puhul, mille põhjuseks on näiteks keevitustööd lähiümbruses, võib tekkida ka hõõglampide valguse lubamatult suur värelus.

Lambid ja nende liiteseadised paiknevad **valgustites**, mille põhiülesanne on lampide valgusvoo ruumiline ümberjaotamine, räguse välistamine, lampide kaitsmine välisloormete eest, inimese kaitsmine elektrilöögi eest, ümbruse kaitsmine lampide kuumuse ning võimaliku süütava toime eest. Valgustite valikul on tähtis silmas pidada, et need vastaksid keskkonnaoludele, mis eeskätt tähendab, et valgusti kaitseaste (*IP*) oleks kooskõlas vee ja võõrkehade võimaliku toimega ning inimesele lubatud juurdepääsuga ohtlikele osadele. Nõutavad kaitseastmed on esitatud elektripaigaldiste ehitusnormides.

Valgustatavate alade järgi eristatakse sise- ja välisvalgustust, otstarbe järgi töö-, turva-, signalisatsiooni- jm valgustust. Kõige enam kasutab inimene sisetöökohtade valgustust. Keskmise keerukusega nägemistööde korral (nt lugemisel ja kirjutamisel) kasutatakse tööruumides enamasti üldvalgustust, keerukatel töödel lisaks veel kohtvalgustust.

3.5.2 Hõõg- ja halogeenlambid

Valgusallikateks on enamasti hõõglambid, lihtsa ehituse ja laia valgusvaliku tõttu. Seevastu valgusviljakus, mis on 10..15 lm/W, on neil gaaslahenduslampidega võrreldes väiksem. Levinud on üldtarbelambid, mille valgustustugevus on igas suunas peaaegu ühesugune ja mida valmistatakse mitmesuguse kujundusega.

Hõõglampide hõõgniidid valmistatakse volframist, mille sulamistemperatuur on 3380 °C ja mis talitleb temperatuuril 2300...3100 °C. Mida kõrgem on talitlustemperatuur, seda kõrgem on lambi valgusviljakus. Enamasti on hõõglambi kolb täidetud argooniga. Suurem valgusviljakus saavutatakse kallima krüptooni kasutamiseega. Valgusviljakust suurendab ka väiksem nimipinge, sest sel juhul

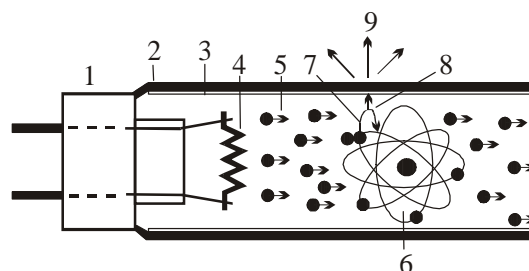
on lambi vool ning hõõgniidi ristlõige suurem, mistõttu lubatud temperatuur on mõnevõrra kõrgem. Kui valgust on vaja täpselt suunata, võidakse kasutada mitmesuguseid peegellampe. Hõõglampe iseloomustab madala valgusviljakuse kõrval ka suhteliselt lühike tööiga (enamasti 1000 tundi), mis oluliselt sõltub võrgupingest. Hõõglampidele on iseloomulik soe valgusvärv ja tavaliste tööde korral vastuvõetav valgusviljakus. Hõõglambid sobivad sagedaks sisse- ja väljalülitamiseks ning nende valgusvoogu on lihtne reguleerida.

Hõõglampide erivormiks on kas väikepingelised (nt 12 V) või võrgupingelised **halogeenlambid**, milles hõõgniidi aurustumist ja kolvi mustumist takistab halogeeni (nt joodi või broomi) lisamine kolvi täitegaasile. Selliste lampide hõõgniit võib talitleda kõrgemal temperatuuril, mistõttu nende lampide valgusviljakus on kõrgem kui tavalistel hõõglampidel (15...25 lm/W). Halogeenlampide tööiga on enamasti 2000...4000 tundi. Et volframi ja halogeeni ühendid ei saaks kolvile sadestuda, peab kolvi temperatuur olema piisavalt kõrge (300...500 °C). Kolvi mõõtmed on seetõttu väikesed. Väikesed mõõtmed võimaldavad vastavate peegelreflektoritega valgust täpselt suunata. Et kolvi kõrge temperatuur ei ohustaks inimesi ega tekitaks tuleohtu, võib lambil olla lisaväliskolb. Kasutatakse ka kaitseklaase, paigutamist kinnistesse valgustitesse ja muid võtteid. Väikepingelisi halogeenlampe toidetakse pingemuundurite vahendusel. Varem kasutati selleks trafosid, nüüdisajal aga enamasti pooljuhtmuundureid, mille väljundpinge võib olla kõrgsageduslik (30...50 kHz).

3.5.3 Gaaslahenduslambid

Lahenduslambid põhinevad kaarlahendusel madala sulamistäpiga metalli (elavhõbeda või naatriumi) auras. Selliste lampide valgusviljakus on 40...150 lm/W, eluiga aga 5000...15 000 tundi. Luminofooride kasutamise teel saab lahenduslambist mitmesuguse, sealhulgas päevavalgusetaolise spektriga valgust, mis on eriti tähtis värvide õigeks eristamiseks.

Madalrõhulises gaaslahenduslambis ehk **luminofoorlambis** on füüsikalised protsessid keerukamad kui hõõglampides, kuid elektrienergia muundamine valguseks toimub palju tõhusamalt. Joonis 3.51 illustreerib torukujulise luminofoorlambi ehitust ja talitluspõhimõtet (toru teine ots on analoogilise ehitusega). Lamp saab toite sokli 1 kaudu. Lambi kolb 2 on täidetud madalrõhulise elavhõbedaaauruga, millele on lisatud argooni või krüptooni. Kolvi sisepinnale on kantud luminofoori kiht 3. Kui lambile on rakendatud pinge ja selle



Joonis 3.51 Torukujulise luminofoorlambi ehitus- ja talitluspõhimõte

elektroodid on piisavalt kuumad (vähemalt 1000 °C), väljub elektroodist 4, mis on parasjagu negatiivne, intensiivne elektronide voog ja lambis tekib kaarlahendus. Elektronide pörkumisel elavhõbeda aatomitega 6 võivad elavhõbeda elektronid ergastada 7. Ergastatud olek ei ole stabiilne ja elektronid naasevad kohe oma stabiilsesse olekusse, andes liigse energia ära ultraviolettkiirgusena 8, mis neeldub luminofooris, kus selle tulemusena tekib nähtav kiirgus 9, mille spekter oleneb luminofoori koostisest. Kiirguse sellist muundumist nimetatakse **fotoluminestsentsiks**. Luminofoorlampide valgusviljakus on tavaliselt 50...100 lm/W ning tööaeg enamasti 10 000...20 000 tundi, mis on tunduvalt suurem kui hõõglampidel. Luminofoorlampid võimaldavad saavutada mitmesuguseid valguse spektreid ning tunduvalt paremat värviesitust. Ka on nende heledus väiksem (5...20 kcd/m²), mis aitab vältida räägust.

Kaarlahendusel naatriumiaurus ultraviolettkiirgust ei teki. Madalrõhuliste naatriumlampide valgus on monokromaatiline lainepikkusega 589 nm, mistõttu selles valguses ei saa eristada värve. Lambi valgusviljakus on kõrge kuni 200 lm/W ja sellised lambid sobivad hästi teede ja tänavate valgustamiseks. Kõrgrõhulampide spekter on laiem, kuid samuti oranžikaskollane, mistõttu lampe kasutatakse peaaesjalikult välisvalgustuses.

Kaarlahenduse pingele sõltuvus voolust on langev, mistõttu kaarlahenduslampe ei saa lülitada otse võrku, sest sel juhul suureneks vool lambis takistamatult kuni lambi läbipõlemiseni mõne sekundi jooksul. Peale selle on kaare süütamiseks enamasti vaja võrgupingest kõrgemat pingepulssi. Et hoida voolu nõutaval tasemel, tuleb lambi ja toitevõrgu vahele ühendada stabiliseeriv liiteseadis (nn ballast), kuhu kuulub ka impulsspingeallikas (süütur). Selleks otstarbeks võidakse kasutada induktiivtakisteid (drosseleid) või induktiivtakistite ja kondensaatorite jadaühendusi, aga ka türistor- või transistorstabilisaatoreid ning transistoragedusmuundureid. Liiteseadis võib paikneda lambist eraldi või olla ehitatud lambi sisse, moodustades kompaktlambi.

Elektrikaar süttib lambis iga poolperioodi alguses ja kustub selle lõpus. Järelhelenduse tõttu ei lange lambi valgusvoog poolperioodi lõpus nulli, kuid selle muutus on palju suurem kui hõõglampide puhul. Valgusvoo kõikumine kahekordse võrgusagedusega tähendab värelust, mis avaldab inimesele ebasoovitavat füsioloogilist toimet. Väreluse vähendamiseks kasutatakse mitmesuguseid võtteid. Kõige kindlam viis on lampide lülitamine võrku üle sagedusmuundurite, mille puhul vool lambis muutub sagedusega 30...50 kHz. Sellisel sagedusel ei jõua elektrikaare temperatuur ega kiirgusvoog vahelduvvoolu perioodi jooksul muutuda ja värelust ei teki.

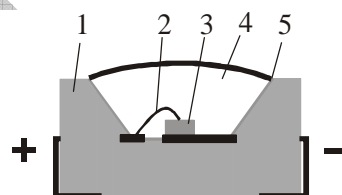
Erinevalt hõõglampidest ei sütti lahenduslambid sisselülitamisel iseenesest, vaid nõuavad süütevõtet. Drosselseadistega lampide korral on selleks **huumlahendussüütur** (starter), mis tagab lambi elektroodide ettekütte ja süütab lambi ettekütteahela katkestamise teel. Lambi süttimine ei pruugi õnnestuda

esimese korruga. Seetõttu rakendub süütur tavaliselt mitu korda, kusjuures lambi süütamine võib kesta kuni 5 s koos häiriva mitmekordse vilkumisega. Kõrgsagedustoitel ei ole süüturit vaja ja lamp süttib sedavõrd kiiresti, et viivitust pole tavaliselt märgata.

Luminofoorlampe valmistatakse sirge torukujulise konstruktsiooni kõrval väga mitmesuguse kujuga, võimsusega ja otstarbega. Levinud on mitmiktorulambid, mis õieti koosnevad ühestainsast mitmekordselt painutatud torust. Selliste kompaktlampide võimsus on ühesuguse valgusvoo korral vähemalt 5 korda väiksem kui hõõglampidel. Varustatuna samasuguse keeresokliga nagu hõõglambid, et nendega saaks hõõglampe lihtsalt välja vahetada, nimetatakse neid lampe ka **säästulampideks**.

3.5.4 Uued valgusallikad

Alates aastast 2000, on hakatud valgustuspaigaldistes kasutama valgusdioode. Valgusdiodid, mille tähistuseks on *LED* (*light-emitting diode*), on väikepingeline (3...7 V) väikesemõõtmeline (läbimõõt 1...5 mm) pooljuhtelement, mis on varustatud sisseehitatud nõguspeegli ja läätsega ning kiirgab valgust kitsama või laiema vihuna ühes suunas. Valgustuseks ettenähtud jõuvalgusdiodide üksikvõimsus on 1...5 W, nimipinge 3,6 või 6,8 V, valgusviljakus 10...30 lm/W ning eluiga kuni 40 000 tundi. Väikese üksikvõimsuse tõttu valmistatakse mitmest valgusdiodist koosnevaid mooduleid, mida võidakse kujundada tavapäraste lampidena, valgusplaatidena või -lintidena. Joonisel 3.52 näeb jõuvalgusdiodi ehituspõhimõtet. Siin on pooljuhtdiod 3 kinnitatud alusele 1, olles kontaktis katoodiga. Anoodiga on moodustatud ühendus kuldkontakttraadi 2 kaudu. Valgust suunavad lääts 4 ja peegelpind 5.

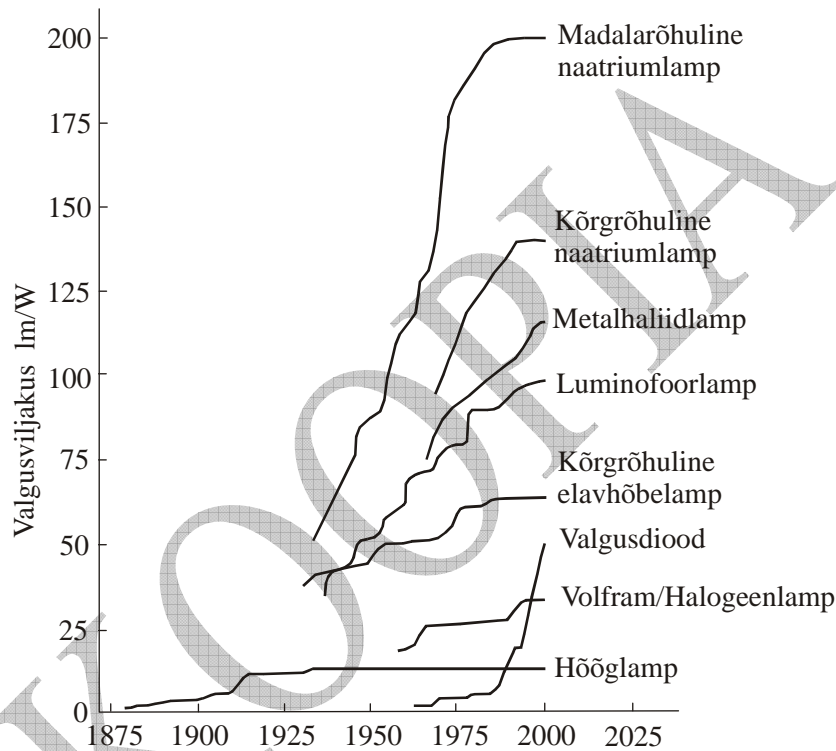


Joonis 3.52 Jõuvalgusdiodi ehituspõhimõte

Hõõg- ja lahenduslampidega võrreldes on valgusdiodid kallimad, kuid teisalt on nad säästlikumad. Põhimõtteliselt on tegemist külma valguse allikaga, kus diodile antud energiast enamus kiirgub valgusena ning tühine osa eraldub soojusena. Kiiritava valguse värvus sõltub kasutatava pooljuhtmaterjali koostisest ja omadustest ning võib olla infrapunane, nähtav või lähedane ultravioletsele. Pikka aega oli diodvalgustite probleemiks valge valguskiirguse tekitamine. Tänapäeval on see probleem lahendatud ning valge valgus saadakse punase ja rohelise komponendi segamise ning sinise komponendi lisamise teel.

Esimese valgust eraldava pooljuhi (kollakalt hõõguva ränikarbiidi) leiutas 1907. aastal inglase H. J. Round, kuid kuna eralduv valgus oli suhteliselt vähene ja ränikarbiidi käitlemine keeruline, ei leidnud see laiemat kasutamist. Esimesed modernsed valgusdiodid tulid kasutusse 1970. aastatel ning olid enamjaolt

punase valgusega. Hiljem lisandusid ka kollase ja rohelise valgusega valgusdiodid. Laiaulatuslikumalt hakkasid valgusdiodid levima 1980. aastatel, kui kasutusele võeti uus materjal (*GaAlAs* – gallium-alumiiniumarseniid), mille tulemusel muutus valgusdiodilt eralduv valgus ligi 10 korda eredamaks olemasolevate lampide valgusest ning samas suurenes elektrienergia kokkuhoid, kuna tööks vajalik pinge oluliselt vähenes. Järgmiseks märkimisväärseks saavutuseks valgusdiodide arengus oli sinise valguses leiutamine 1990. aastate keskel.



Joonis 3.53 Valgusallikate areng

Valgusdiodid on põhjendatud seal, kus soovitakse programmeerida valguse muutumist (vilkumine ja värvuste vahetumine) ning eesmärgiks on väikesed hoolduskulud ja pikk kasutusiga. Käesoleval ajal on *LED* muutumas alternatiiviks tavalistele tehisvalgusallikatele nii kodus, kontoris, tehasetehhis kui autotööstuses. Valgustuseks ettenähtud valgusdiodide ühikvõimsus on käesoleval ajal 1...5 W, nimipinge 3,6 või 6,8 V ja valgusviljakus 10...30 lm/W. Joonisel 3.53 näeb valgusallikate arengut aastakümnete jooksul.