

## 6 ENERGIA KASUTAMINE

### 6.1 ÜLDMÕISTED

Nüüdisühiskonnas kasutab inimene oma vajaduste rahuldamiseks (toitainete tootmiseks ja toiduvalmistamiseks, kodu- ja tööruumide kütteks ja hooldamiseks, töövahendite käitamiseks, valgustuseks, sõitudeks ja vedudeks, meelelahutuseks jne) tunduvalt enam energiat kui seda oleks vaja tema puht füsioloogilise energiatarbe katteks. Keha elutegevuse alalhoiuks on inimesele toiduna vaja ainult 11...12 MJ (vanades ühikutes 2700...2900 kcal) energiat ööpäevas, mis tähendab, et inimkeha ööpäevane keskmine tarbitav võimsus on 130...140 W.

Füüsilise töö sooritamisel on keha energiavajadus suurem. Kestval tööl võib inimene oma lihaste jõul arendada võimsust kuni umbes 100 W, spordis võib see olla aga ka tunduvalt rohkem. Nii näiteks võivad tippjalgratturid saavutada pikamaasõitudele kestevvõimsuse 550 W, mis vastab umbes hobuse võimsusele koormatud vankri veol. Lühiajaliselt võib aga ka tavainimene arendada mitu korda suuremat võimsust kui kestval tööl. Kui näiteks joosta trepist üles kõrgusele  $h = 3$  m ajaga  $t = 2$  s, on jalalihastega arendatav võimsus kehamassi  $m = 80$  kg ja raskuskiirenduse  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup> korral

$$P = \frac{m g h}{t} = \frac{80 \cdot 9,81 \cdot 3}{2} \approx 1,2 \cdot 10^3 \text{ W} .$$

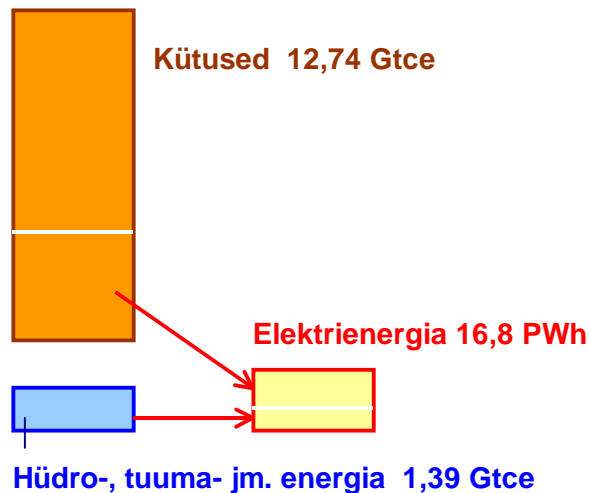
Nüüdisaja tööstusühiskonnas on inimese tegelik energiavajadus kasvanud vägagi suureks (vt joonis 1.4.2), olenedes seejuures loomulikult Maa kliimavöötimest. Põhjalaiusel 50° ...60°, sealhulgas Eestis, on energiavajadus, kui sellesse tinglikult lugeda ka toit, ühe elaniku kohta ligikaudu järgmine:

▪ toiduna	0,3 tce/a
▪ toitainete tootmiseks ja toiduvalmistamiseks	1 tce/a
▪ kodu- ja tööruumide kütteks	1 tce/a
▪ elektrienergia tootmiseks	1 tce/a
▪ tööstuslikeks tootmisprotsessideks	1,5 tce/a
▪ sõitudeks ja vedudeks	1 tce/a

Kokku teeb see ligikaudu 5,5 tce/a, mis on kooskõlas jaotises 1.5 (joonisel 1.5.1) esitatud andmetega kaubalise energia tarbimise kohta. Suurtarbimisühiskonnas nagu näiteks USAs on energiatarbimine inimese kohta kuni umbes kaks korda suurem, eriti energiamahukate tööstusharude olemasolul (nt naftatööstusriikides) aga veelgi suurem.

## 6.2 ENERGIA MITTEELEKTRILISED KASUTAMISVIISID

Maailma kaubalise energia toodangust, mis aastal 2003 oli veidi üle 14 Gtce (vt joonis 1.4.3), kulutatakse elektrienergia saamiseks ligi 40 %, kusjuures saadava elektrienergia kogus oli 2003. aastal ligi 17 PWh ehk kivisöe-tingkütusele ümberarvutatult ligi 2,1 Gtce (joonis 6.2.1).



Joonis 6.2.1. Maailmas toodetava primaarse kaubalise energia kasutamine elektrienergia saamiseks aastal 2003

Suurem osa kütustest kasutatakse seega mitte elektrienergia tootmiseks, vaid muuks otstarbeks (kütteks, tööstuslikes tehnoloogilistes protsessides, liikluses jne).

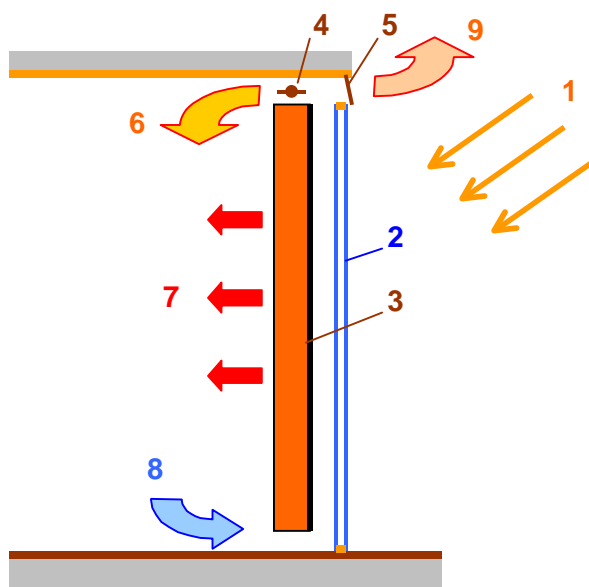
**Hoonete kütteks** kasutatakse peaaugult mitmesuguseid tahkeid, vedelaid ja gaasilisi kütuseid (sagedaimini kütteeõlisid, maagaasi, kivisütt ja puitu). Võidakse kasutada aga ka geotermiaalenergiat (nt Islandil kaetakse sel viisil peaaegu kogu küttevajadus). Kütteviisidest võidakse kasutada nii kohtkütet (nt mingi ruumi või ruumiosa jaoks) kui ka keskkütet ja kaugkütet, nähes ette kütuste põletamise vastavalt kas ahjudes, gaasipõletites, keskküttekateldes, keskkatlamajades või elektrienergia ja soojuse koostootmisjaamades, viimasel ajal aga ka kütuseelemendipatareides. Keskkütte korral võidakse ette näha kiirgusel ja/või konvektsioonil põhinevate küttekehade (radiaatorite, konvektorite) kasutamine (vt jaotis 3.4) või kuumaveetorude paigaldamine ehitustarindeisse (eeskätt põrandaisse).

Hoonete kütteks ja soojaveevarustuseks on viimasel ajal järjest laiemalt hakatud rakendama **päikesekiirgust**, kuna sel viisil saab vähendada kütuste põletamise vajadust ja kahjulike põlemissaaduste paiskumist atmosfääri. Päikesekiirguse kasutamine võib olla *passiivne* ja seisneda nt hoone lõunapoolsete välisseinte katmises kiirgust neelavate paneelidega, kuid sagedamini rakendatakse mitmesuguseid, enamasti hoone katusel paiknevaid veekuumuteid, mis ühendatakse hoone keskküttesüsteemi, soojaveetorustiku ja soojussalvestiga [1.9].

Lihtsaima passiivse päikesekütte põhimõte on kujutatud joonisel 6.2.2. Hoone välissein on materjalist, mis peab hästi neelama päikesekiirgust, kusjuures selle soojusmahtuvus peab olema võimalikult suur ja selle soojusjuhtuvus peab

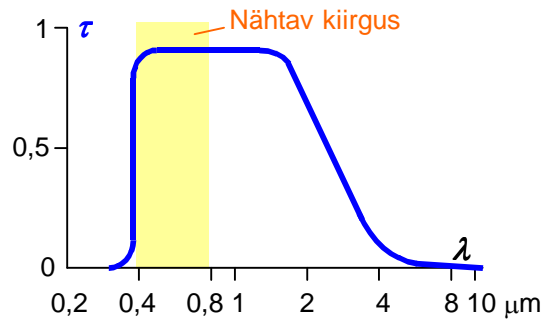
võimaldama soojusülekanne hoonesse. Võidakse kasutada nt seinakatmist metallipigmenti sisaldava polümeerplaadiga, lihtsaimal juhul aga ka hoone seinatöötlemist tumedaks. Mõlemal juhul tuleks aga sein klaasida ning jätta klaasi ja sein (või eelnimetatud kateplaadi) vahele õhupilu. Sellise seinavälispinna temperatuur võib päikesepaistelise ilmaga isegi talvel tõusta kõrgemaks kui hoone sisetemperatuur. Et päikeseküte oleks tõhusam, võidakse sellises seinas ette näha ventilatsioon, mis suunab õhupilust soojenenud õhku köetavasse ruumi.

Eelkirjeldatud passiiv-päikeseküttesüsteemi idee esitati USA-s aastal 1881, kuid jäi tähelepanuta. Aastal 1960 tõestas aga prantsuse keemiainsener Félix Trombe (1906–1985), kes põhjalikult uuris päikesekiirguse rakendamise võimalusi, et sellise süsteemiga saab kütteks vajalikku energiat oluliselt säästa ja avaldas koos arhitekt Jacques Micheliga taolise seinatöötlemise põhimõtte, misjärel algas selle tegelik kasutamine. Kirjanduses nimetatakse sellise ehitusega välisseina sageli *Trombe'i* ehk *Trombe'i-Micheli seinaks*.



**Joonis 6.2.2. Trombe'i seinatöötlemise põhimõte. 1 päikesekiirgus, 2 topeltklaas, 3 musta välispinnaga betoon- või tellissein, 4 päikesepaiste kestval puudumisel suletav klapp, 5 mittevajaliku soojenenud õhu väljalaskeklapp (nt suvel), 6 soe õhk, 7 seinatöötlemise soojuskiirgus, 8 külm õhk, 9 mittevajaliku soojenenud õhk**

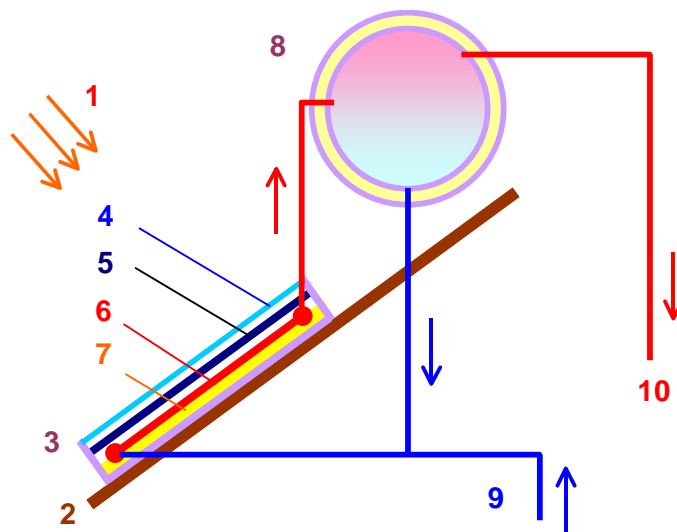
Õhu kuumenemine päikesepoolselt klaasiga kaetud suletud ruumis on seletatav klaasi omadusega lasta peaaegu takistamatult (läbitusteguriga ligikaudu 0,9) läbi lühilainelist päikesekiirgust (maksimumiga lainepikkusel 0,5  $\mu\text{m}$ ), täielikult neelata ning vähesel määral tagasi peegeldada aga soojenenud pinnalt lähtuvat pikalainelist soojuskiirgust, mille maksimum on tavaliselt lainepikkusel 10  $\mu\text{m}$  (joonis 6.2.3).



**Joonis 6.2.3. Klaasi läbitusteguri  $\tau$  olemus kiirguse lainepikkusest  $\lambda$  (näide)**

Klaasialuse pinna soojenemisel põhinevad ka mitmesugused kasvuhooned ja taimelavad. Esimene kirjalik teade klaasseintega kasvuhoonete kasutamisest pärineb Rooma loodusteadlaselt ja riigimehelt Plinius Vanemalt (23...79), kes kirjutab, et juba aastal 30 kasvatati neis keiser Tiberiuse (–42...37) jaoks kurke, mis oli keisri lemmikroog [2.7].

Lõuna-Euroopas, muudes Vahemeremaades, USA lõunapoolsetes osariikides ja mitmel pool mujal kasutatakse päikesekiirgust vee kuumutamiseks katusel paiknevate kiirguskollektorite abil. Joonisel 6.2.4 on skemaatiliselt kujutatud lihtsaima, vee loomulikult ringlusel põhineva passiivse veekuumutusseadme ehitus.

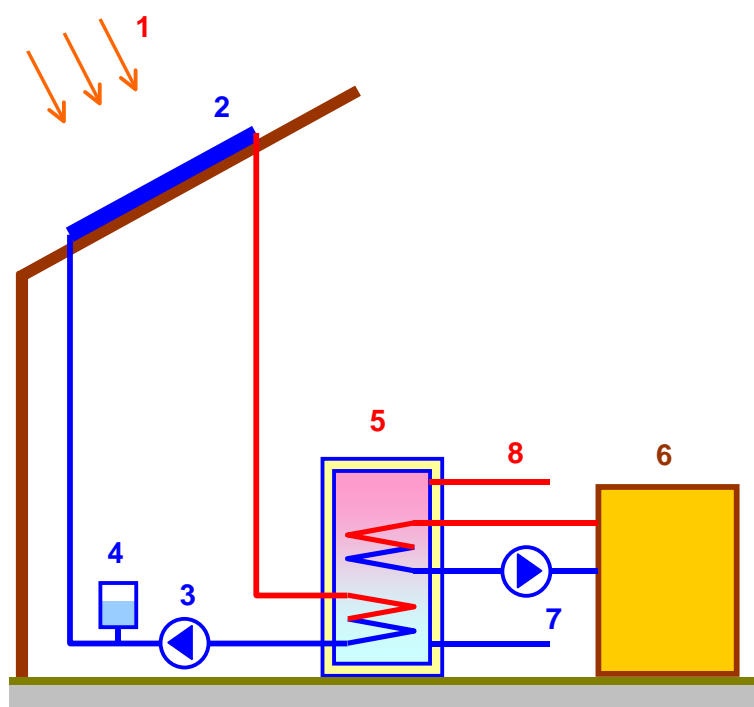


**Joonis 6.2.4. Passiivse päikese-veekuumutuse põhimõte. 1 päikesekiirgus, 2 katusepind, 3 kiirguskollektor, 4 klaas, 5 kiirgustneelava pinnaga vaskplaat, 6 rööbitised vasktorud, 7 soojusisolatsioon, 8 veepaak, 9 ühendus veevarustustorustikuga, 10 ühendus soojaveetarvititega**

Kiirguskollektor kujutab endast lamedat kasti, mis harilikult paikneb katuse pinnal, kuid võib olla ka sellesse süvistatud. Päikesekiirgus langeb läbi kollektori katteklaasi plaadile, mis on kaetud kiirgust hästi neelava kattekihiga. Viimases kasutatakse nüüdisajal mitmesuguseid musti nikli- või kroomiühendeid, eriti tõhusaks on aga osutunud titaannitriidist ja titaanoksiididest (TiN, TiO, TiO<sub>2</sub>) moodustatud ligikaudu 0,1 μm paksune (*tinoks*-) kiht, millega kaetud kollektor neelab 90...95 % temale langevast päikesekiirgusest [6.1]. Plaadi all on rööbitised, mõlemast otsast omavahel ühendatud vasktorud, milles vesi kuumeneb ja tõuseb veepaaki.

Esimese primitiivse päikesekiirguskollektori (klaasitud puitkasti) valmistas aastal 1767 Genfi ülikooli filosoofiaprofessor Horace-Bénédict de Saussure (1740–1799), saavutades selle põhjas temperatuuri kuni 110 °C. Esimese nüüdisaegsetele sarnaneva, rööbitistest veetorudest koosneva kollektori patenteeris aastal 1891 USA leidur Clarence Kemp, kes hakkas neid ka oma kodulinnas Baltimore'is valmistama ja müüma. Joonisel 6.2.4 kujutatud, kollektorist ja veepaagist koosnev seade tuli kasutusele USAs aastal 1909, nende lai rakendamine algas aga alles pärast vedelkütuste järsku kallinemist aastal 1973.

Joonisel 6.2.4 kujutatud veekuutussüsteemi, mille kollektoris ja paagis ringleb tarbevesi, saab kasutada üksnes seal, kus ei ole karta vee külmumist, nt Lõuna-Euroopas ja Vahemeremaades. Kui paikkonna õhutemperatuur võib langeda alla nulli, tuleb veele lisada külmumisvastaseid lisandeid (nt etaandiooli) ja näha kollektoris ja selle juurde kuuluvas torustikus ette suletud veeringlus. Sellise päikesekollektori ühendamine hoone soojaveesüsteemiga on skemaatiliselt kujutatud joonisel 6.2.5. Süsteemi juhtimiseks ja reguleerimiseks kasutatav automaatikaaparatuur ei ole joonisel näidatud.



**Joonis 6.2.5. Päikesekiirguskollektori ühendamine hoone soojaveesüsteemiga. 1 päikesekiirgus, 2 kiirguskollektor, 3 ringluspump, 4 paisunõu, 5 soojaveesalvesti, 6 kütust kasutav, elektriline vm veekuumuti, 7 ühendus veevarustustorustikuga, 8 ühendus soojaveetarvititega**

2005. aasta lõpus oli maailmas 46 mln maja, mille soojaveearustuses ja/või hoonete küttes kasutati päikesekollektoreid, küttevõimsuse kokkuhoiduks aga lisaks sellele (harvemini eraldi) Trombe'i (klaasitud) seinu. Päikesekollektorite üldpindala oli seejuures  $125 \cdot 10^6 \text{ m}^2$  ja nende soojuslik võimsus kokku 88 GW [6.2].

Esimese ühepereelamu (põrandapinnaga  $120 \text{ m}^2$ ), milles peaaegu kogu kütteks ja soojaveearustuseks vajalik energia (80 % aastasest energiakulust) saadi katusele paigutatud päikesekollektorite abil, kasutades energiakulu vähendamiseks ka Trombe'i seinu, ehitas aastal 1973 Delaware'i ülikool (USA) [1.15]. Hoone elektritarbimist kattis fotoelektriline

päikesepatarei. Eesti esimene, 40 m<sup>2</sup> suurune päikesekiirguskollektor paigaldati Vändra haigla katusele aastal 1995 [6.3].

Päikesekiirguse kasutamiseks võib tinglikult lugeda ka soojuse võtmist soojuspumpade abil välisõhust, veekogudest, põhjaveest või pinnasest, kuhu päikeseenergia on looduslike energiaedastusprotsesside tulemusel salvestunud (vt jaotis **2.15**).

Põhimõtteliselt saab hoonete kütteks kasutada ka tuuleenergiat (mehaanilise energia muundamise teel soojuseks) ja tuumaenergiat (tuumaenergial töötavatest koostootmisjaamadest kaugkütte teel).

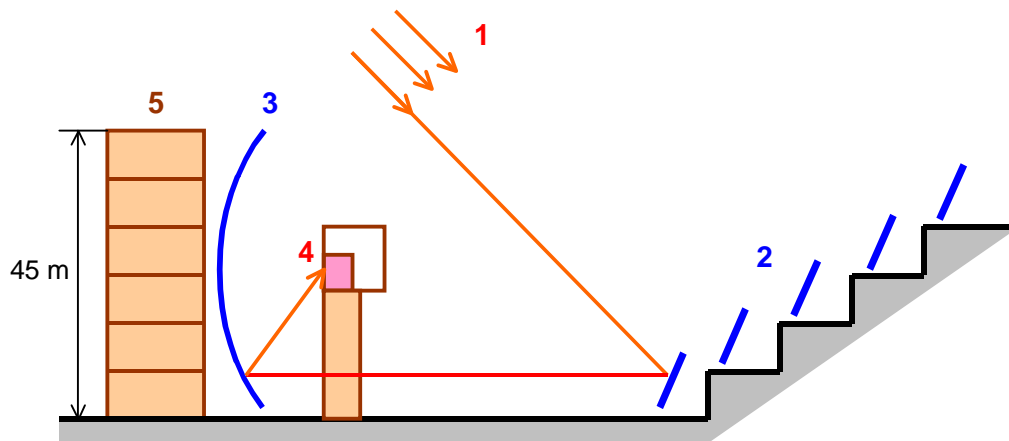
Tuumaelektrijaamade kasutamist kaugkütte eesmärgil loetakse siiski liiga riskantseks, sest koostootmis-tuumaelektrijaamad peaksid paiknema sel juhul liiga lähedal soojusenergia tarbijatele. Maailmas on ainult üks selline jaam ja see asub Venemaal, Tšuktši poolsaarel Anadõri linna lähedal: see on aastal 1976. valminud Bilibino tuumajaam 4 energiaplokiga, millest igaüks väljastab soojusvõimsust 29 MW ja elektrivõimsust 12 MW.

Üksikhoonete kütteks on viimastel aastatel hakatud rakendama mitmesuguseid väike-koostootmisagregaatide. Nii näiteks toodetakse Saksamaal, nagu varem juba mainitud, alates aastast 2006 puidugraanulitega köetavaid stirlingmootoragregaatide elektrilise võimsusega 5 kW ja soojusvõimsusega 15 kW, mis edukalt konkureerivad kaugküttega.

#### **Tööstuslikes tootmisprotsessides** võidakse kasutada

- lähteainete (nt. koksi, toornafta, maagaasi, puidu vm) põletamisel või termilisel muundamisel saadavat soojust (teiste sõnadega – kasutada lähteaines sisalduvat keemilist energiat),
- kütuste põletamisel saadavat soojust (soojuskandjate, nt kuuma vee, veeauru või kuuma gaasi vahendusel),
- sisepõlemismootorite, gaasiturbiinide või muude primaarmootorite abil (mootorikütuste põletamisel) saadavat mehaanilist energiat.

Tööstuslikes soojuse kasutamisel põhinevates protsessides on rakendatud ka päikeseenergiat. Suurim taoline seade – kontsentreeritud päikesekiirgusel talitlev metallisulatusahi soojusvõimsusega 1000 kW – valmis aastal 1969 Odeillos (Prantsuse Püreneedes). Päikesekiirgust võtavad vastu 63 heliostaati à 45 m<sup>2</sup> ja kontsentreerivad selle paraboolpeeglile pindalaga 2000 m<sup>2</sup>. Viimaselt suunatakse kiirgus tiiglile, milles saavutatakse temperatuur kuni 4000 °C [6.4]. Süsteemi ehituspõhimõtte on kujutatud joonisel **6.2.6**.



**Joonis 6.2.6. Odeillo päikese-metallisulatusahju ehituspõhimõte (tugevasti lihtsustatult). 1 päikesekiirgus, 2 heliostaadid, 3 paraboloidpeegel, 4 ahi, 5 ettevõtte- ja büroohoone**

Päikesekiirgust on kasutatud ka auru tootmiseks aurumasinatele ja -turbiinidele. Nii näiteks valmistas prantsuse matemaatikaõpetaja Augustin Mouchot (1825...1912) aastal 1866 päikesekiirgusel talitleva aurumasinana, sai selle eest Pariisi maailmanäitusel aastal 1878 kuldmedali ja ehitas aastal 1875 Alžeerias päikese-aurumasinast ja pumbast koosneva agregaadid, mis võis toota 2500 liitrit vett tunnis [2.7].

Väliolukorras (nt ekspeditsioonidel) kasutatakse sageli päikesekiirgusel talitlevaid toiduvalmistusseadmeid, mis enamasti koosnevad paraboloidpeeglist läbimõõduga kuni 2 m ja selle fookusesse paigutatavast keedunõust.

#### **Liikluses ja veonduses** kasutatakse laialt

- mootorikütuseid (bensini, diislikütust, petrooli, gaasi),
- katlakütuseid (auruturbiinlaevadel)
- tuumaenergiat (peamiselt allvee- jm sõjalaevadel ja jäämurdjatel; kaubalaevadel on tuumaenergia kasutamine osutunud mittevõistlusvõimeliseks teiste energialiikidega.

Tunduvalt väiksemas ulatuses ja peamiselt jahtidel, muudel spordilaevadel, purilennukitel ja katselistes sõidukites leiab kasutamist

- tuuleenergia ja
- päikeseenergia.

Ilma elektrilise vahemuundamiseta kasutatakse, nagu juba öeldud, ligikaudu 60 % kaubalisest primaarenergiast. Kui arvestada ka mittekaubalisi energialiike, on primaarenergia mitteelektrilise kasutamise osatähtsus oletatavasti ligikaudu 75 %.

Suurimate mitteelektriliste energiatarbijate hulka kuuluvad

- metallurgia (kõrgahjud, terasetootmine, valutööstus jm),
- ehitusmaterjalide (tsemendi, lubja, telliste jm) tootmine,
- mineraalväetiste tootmine,
- naftasaaduste tootmine,
- keemiatööstus ja paljud muud tööstusharud.

## 6.3 ELEKTRIAJAM

Elektriamiks nimetatakse elektrienergia kasutamisel põhinevat seadet või süsteemi kehade, ainete, mehhanismide, masinate vms liikumapanekuks. Selleks otstarbeks võidakse elektriamis kasutada

- elektrimootoreid,
- elektromagneteid,
- muid sihipärase elektromagnetvälja tekitamisel põhinevaid vahendeid.

Elektriamia ajaloo alguseks võib põhimõtteliselt lugeda Benjamin Franklini katseid elektrostaatilisest mootoriga aastal 1748 (vt jaotis **2.15**). Kuigi Franklin arvas, et selliseid mootoreid võiks kasutada näiteks praevarda- või tornikellaajamites, ei suuetud neid liiga väikese võimsuse tõttu tegelikkuses realiseerida. Reaalsetes mehhanismides vajaliku võimsusega elektriamid said võimalikuks alles pärast elektromagnetismi avastamist ja esimeseks elektromagnetiliseks elektriamiks tuleb pidada Michael Faraday katseseadet, mille ta valmistas 3. septembril 1821 ja milles voolust läbitud varras pöörles ümber seisva magneti (vt joonis **2.13.2**).

Faraday esimest elektriamit võib nimetada *elektromagnetiliseks segistikks*, sest pöörlev varras paneb anumas oleva vedeliku (elavhõbeda) keeriseliselt liikuma. Kuna aga vool kulgeb ka elavhõbedas, tekivad selles vedelmetallis endas samuti liikumapanevad magnetohüdrodünaamilised jõud. Seega sisaldab Faraday katseseade endas ka esimese *magnetohüdrodünaamilise ajami* tunnuseid.

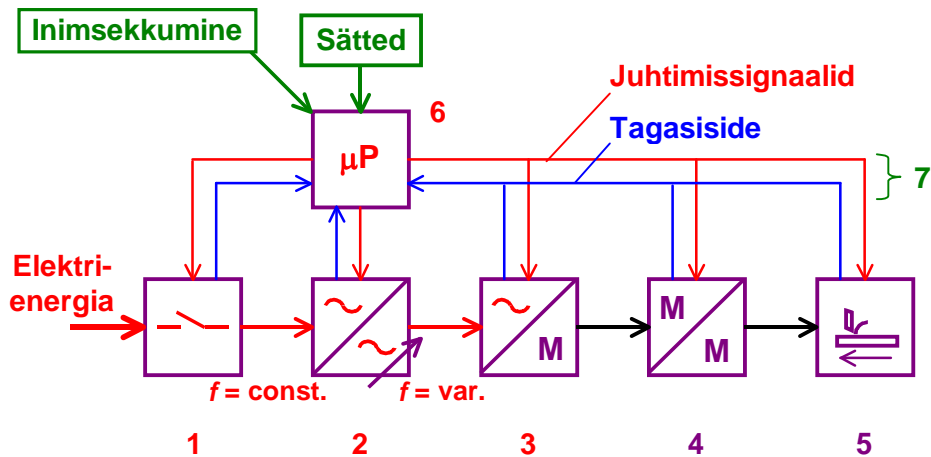
1820ndatel ja 1830ndatel aastatel esitati mitmesuguseid elektrimasinate ja -ajamite ehitusviise, mis põhinesid vahelduvasuunalisel kulgliikumisel, matkides kolbaurumasinat. **Rakendusliku elektriamia** tegelikuks sünniks tuleb aga lugeda Moritz Hermann Jacobi maailma esimese pöörleva elektrimootori (vt jaotis **2.13**) kasutamist maailma esimesel elektriamiaga sõidukil – merepaadil, mis võis peale võtta kuni 12 inimest ja arendada kiirust 2...3 versta tunnis. Sellise paadi esimene katsetamine toimus Peterburis Neeva jõel 25. septembril 1838 nii päri- kui ka vastuvoolu sõites.

Elektrimootorite ja -ajamite laiem kasutamine algas 1870ndail aastail, pärast generaatorite **endaergutuse** leiutamist (vt jaotis **2.12**), mis tõi endaga kaasa elektriamade ehitamise ja neist saadava elektrienergia märgatava odavnemise. Viimase aja olulisim arengusamm seisneb türistor- ja transistorajamite kasutuselevõtus 1990ndail aastail koos mikroprotsessor-automaatjuhtimise rakendamisega. Käesoleval ajal moodustavad elektriamid maailma energeetikas suurima elektritarvitite rühma, tarbides ligikaudu 2/3 kogu toodetavast elektrienergiast.

Nüüdisaegse sujuvalt ning kõrge kasuteguriga reguleeritava ja mikroprotsessor-süsteemi abil automaatselt juhitava elektriamia üks võimalikest põhimõtteskeemidest on esitatud joonisel **6.3.1**.

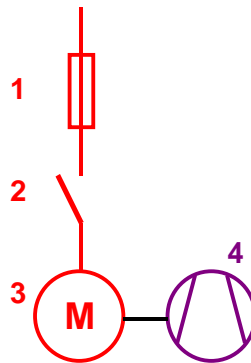
Kui elektriam peab täitma keerukaid programme, kuulub selle juurde vastava tarkvaraga **elektronarvuti**. Elektriamia koosseisus võib olla veel mitmesuguseid joonisel **6.3.1** näitamata elemente nagu nt elektromagnetilisi sidureid, hoorattaid, abivooluallikaid jm.





**Joonis 6.3.1. Vahelduvvoolu-elektrijami struktuuri näide. 1 lülitus- ja kaitseaparatuur, 2 sagedusmuundur, 3 elektrimootor või muu elektromehaaniline muundur, 4 reduktor või muu mehaaniline muundur, 5 töömasin, 6 mikroprotsessor-juhtimissüsteem, 7 infoedastusvõil (paljujuhtmeline süsteem, juhtmepaar, raadiokanal, valguskaabel vm),  $f$  sagedus**

Kui töömasin ei nõua kiiruse sujuvat reguleerimist ega keerukat automatiseerimist, võib elektrijami struktuur olla tunduvalt lihtsam kui joonisel 6.3.1 esitatu. Näitena on joonisel 6.3.2 esitatud lihtsaima mittereguleeritava ning käsitsi sisse- ja väljalülitatava asünkroon-elektrijami põhimõtteskeem.

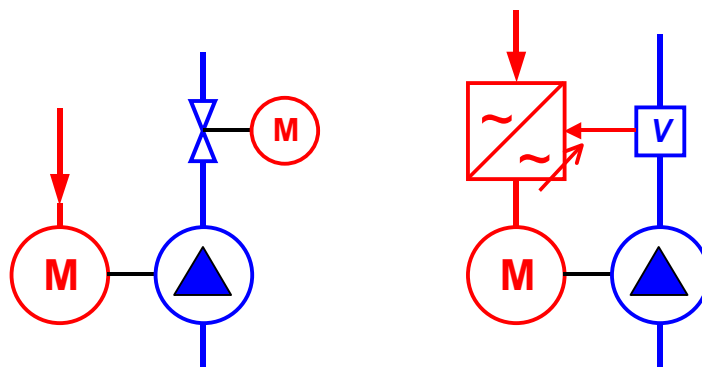


**Joonis 6.3.2. Käsitsi juhitud mittereguleeritav elektrijam. 1 kaitseaparatuur (nt sulavkaitsmed), 2 lülitusaparaat (nt kontaktor), 3 elektrimootor, 4 töömasin (nt ventilaator)**

Elektrijameid saab luua väga mitmesuguste nimiparameetritega. Nende võimsus võib olla mõnest millivattist mõnekümne megavattini, töömasinale edastatav pöörlemissagedus ühest pöördest aastas (või veelgi vähem) kuni mõnekümne tuhande pöördeni minutis, reguleerimise ulatus kuni 1000:1 ja isegi enam. Elektrimootoritena on nüüdisajal enamasti kasutusel kolmefaasilised asünkroon- ja sünkroonmootorid, kuid leiavad kasutamist ka alalisvoolumootorid, samm-mootorid ja mitmesugused muud mootorite liigid.

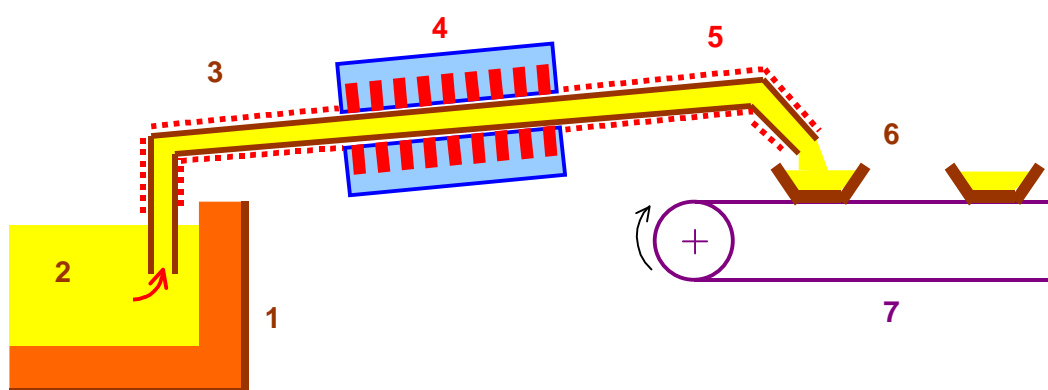
Sujuvalt reguleeritavate sagedusmuundur-elektrijamite kasutamine võib anda suurt elektrienergia kokkuhoidu muutliku tootlikkusega pumpade ja ventilaatorite käitamisel

võrreldes senise ventiil- või siiberreguleerimisega. Joonisel 6.3.3 on skemaatilisel kujutatud traditsiooniline konstantse kiirusega talitleva pumba voluhulga reguleerimine vastava ajamiga varustatud ventiili abil ja nüüdisaegne sagedusmuundurajam. Kui pumba ööpäevane koormustegur (keskmise ja suurima võimsuse suhe) on, nagu tavaliselt, vahemikus 30 kuni 60 %, saadakse sagedusmuundurajami rakendamisel energiasääst vastavalt 60 kuni 45 %.



**Joonis 6.3.3. Pumba tootlikkuse reguleerimine reguleerventiiliga (vasakul) ja sagedusmuundurajamiga (paremal). V voluhulgaandur**

Nagu juba öeldud, võidakse elektrijameis kasutada mitte üksnes pöörlevaid elektrimootoreid, vaid ka kulgmootoreid, elektromagneteid ja muid elektromagnetvälja tekitamise vahendeid. Joonisel 6.3.4 on näitena kujutatud sulametalli (nt magneesiumi) doseerimiseks kasutatav magnetohüdrodünaamiline ajam, mis 1960ndail aastail töötati välja Tallinna Tehnikaülikooli selleaegses elektrijamite kateedris ja võeti aastal 1966 edukalt kasutusele Kasahstani titaani- ja magneesiumikombinaatides. Taolisi ajameid kasutatakse ka mõnede tuumareaktorite vedelmetall-soojuskandja (naatriumi, kaaliumi, liitiumi vms) pumpamiseks (vt jaotis 2.8).



**Joonis 6.3.4. Sulametalli doseerimiseks valukonveierile kasutatava magnetohüdrodünaamilise elektrijami põhimõte. 1 sulatusahi, 2 sulametal (magneesium, alumiinium vm), 3 sulametalitoru, 4 kulgmagnetvälja tekitav induktor, 5 sulametalitoru ümbritsev ettekuumutusmähis, 6 valuvorm, 7 valukonveier**

Keerukates tootmis-, transpordi- jm seadmes võib olla kasutusel mitu elektriajamit, mis peavad talitlema omavahel kooskõlastatult. Keerukaimate elektriajamisüsteemide hulka kuuluvad nt tööstusrobotite ajamikompleksid, mis sisaldavad mitmesuguseid andureid käsitusobjektide ja nende asukohta tuvastamiseks, roboti eri organite ühtset ning täpset programmjuhtimissüsteemi, eriehitusega mootoreid ja magnetmehhanisme jms. Ka elektriautod, kui näiteks nende igal rattal on omaette ajam ja omaette pöördemehhanism, on võimalikud üksnes kooskõlastatud täpse, kiire, paindliku ja äärmiselt töökindla, arvutil põhineva juhtimissüsteemi olemasolul.

Elektrijameid käsitletakse põhjalikult õppesuuna *Elektrijamid ja jõuelektronika* põhiõppeainetes.

## 6.4 ELEKTERKÜTE

Võrreldes muude kütteviisidega on elekterküte tunduvalt lihtsam, töökindlam ja paindlikum. Kuna aga elektrienergia on kallim kui kütustes sisalduv energia, vajab elekterkütte kasutamine alati teatavat tehnilis-majanduslikku põhjendamist.

Elekterkütte eelised teiste kütteviiside ees seisnevad

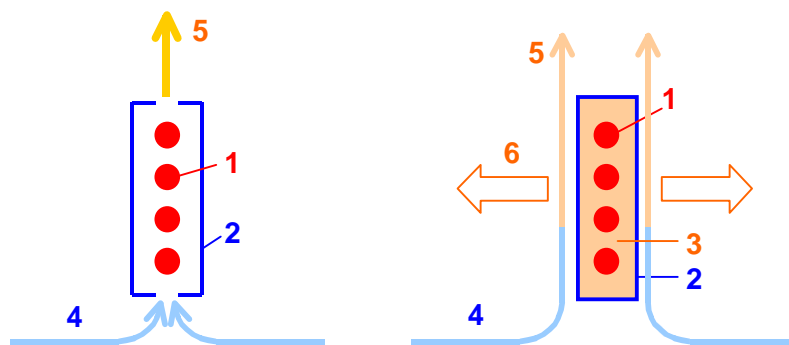
- suuremas paindlikkuses ja mitmekülgsuses,
- lihtsa kombineerimise võimaluses teiste kütteviisidega,
- võimaluses loobuda vee kasutamisest küttesüsteemis ja seega võimalike veekahjustuste välistamisest küttesüsteemi raketel,
- väiksemas tuleohus võrreldes kütuste põletamisega,
- kerges automatiseerimises ja optimaalse reguleerimise võimaluses,
- väikestes paigaldus- ja hoolduskuludes,
- suuremas töökindluses,
- energiakulu täpse arvestamise võimaluses,
- elektrienergia odavama öötariifi kasutamise võimaluses ning seejuures ühtlasi energiasüsteemi ööpäevase koormusgraafiku soodsas reguleerimises.

Elekterkütte põhipuudusteks loetakse

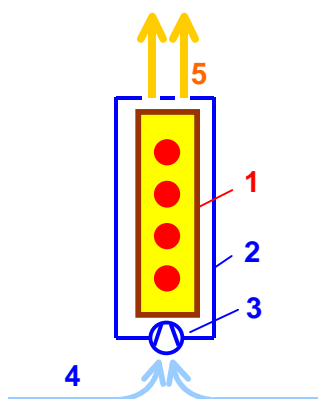
- elektrienergia kallidust,
- ehitise elektrijuhistikku kallinemist, sest sageli tuleb elekterkütteseadmete toiteks ette näha omaette juhistik,
- vajadust tugevdada ehitise soojusisolatsiooni, mis kalli elekterkütte kasutamisel on eriti vajalik.

Elekterkütet saab realiseerida nii **otse-** kui ka **salvestusküttena**. Joonisel **6.4.1** on kujutatud tüüpiliste toaoludes kasutatavate otseküttekonvektorite (konvektsioon-soojusülekanne ülekaaluga küttekehade) ja -radiaatorite (kiirgusliku soojusülekanne ülekaaluga küttekehade), joonisel **6.4.2** aga samades oludes kasutatava salvestusküttekonvektori ehituspõhimõte. Viimane köetakse üles nt öösel, elektrienergia soodustariifi kehtimise ajal, soojust aga viiakse ära nii öösel kui ka päeval, reguleeritava läbipuhumisventilaatori abil. Lihtsamates (väiksema võimsusega) salvestusküttekehades võidakse kasutada ka loomulikku konvektsiooni.

Tuleb mainida, et kõnekeeles nimetatakse radiaatoriteks ekslikult tihtipeale ka neid küttekehi, mis annavad soojust köetavasse ruumi põhiliselt konvektsiooni teel.

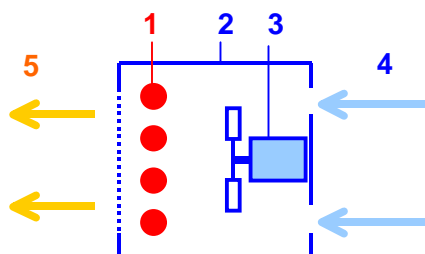


**Joonis 6.4.1. Elektrilise konvektori (vasakul) ja radiatori (paremal) ehituspõhimõte. 1 elektriline kütteelement, 2 ümbris, 3 täitevedelik (nt õli), 4 külma õhu konvektiivne juurdevool, 5 soojenenud õhu äravool, 6 soojuskiirgus**



**Joonis 6.4.2. Elektrilise salvestusküttekeha ehituspõhimõte. 1 kivimist, keraamiline vm salvestusmaterjal koos kütteelementidega, 2 ümbris, 3 ventilaator, 4 külma õhu juurdevool, 5 soojenenud õhu äravool**

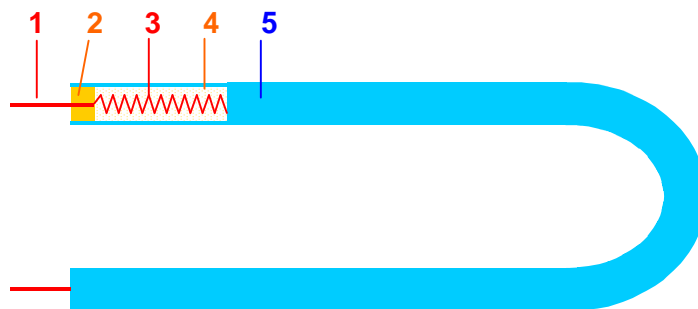
Ruumide kiireks või lühiajaliseks üleskütmiseks leiavad sageli kasutamist **soojaõhupuhurid** (joonis 6.4.3).



**Joonis 6.4.3. Elektrilise soojaõhupuhuri ehituspõhimõte. 1 kütteelemendid, 2 ümbris, 3 ventilaator, 4 külma õhu juurdevool, 5 soojenenud õhu äravool**

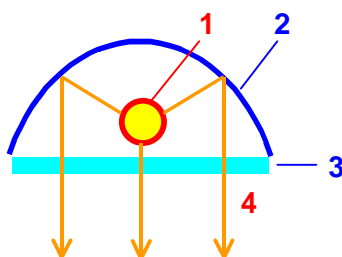
Kõigis eelnimetatud küttevahendites kasutatakse enamasti torukujulisi kütteelemente, milles takistustraadist keermikku ümbritseb kokkupressitud peeneteraline räni- või magneesium-oksiid ja roostevabast terasest või muust

tugevast ning korrosioonikindlast metallist kest (joonis 6.4.4). Sellised elemendid on väga töökindlad ja tagavad oma sellekohasel paigaldamisel kõrgetasemelise elektriohutuse.



**Joonis 6.4.4. Torukujuline elektriline kütteelement (näide). 1 sisseviik, 2 sisseviigu isolatsioon, 3 takistustraadist keermik, 4 täitematerjal (SiO<sub>2</sub> või MgO), 5 metalltoru**

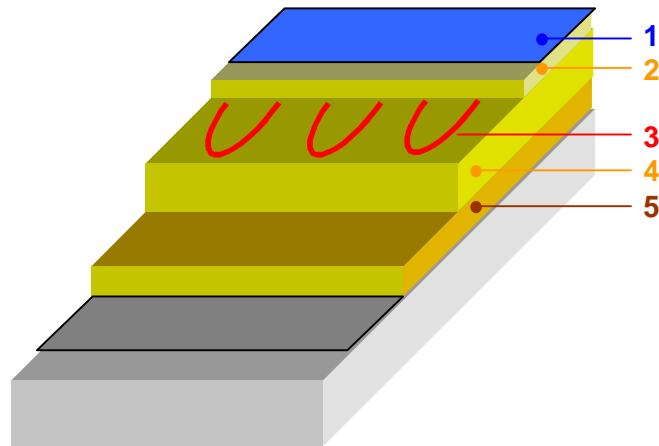
Kasutatakse ka madala- ja kõrgetemperatuurilisi kiirguskütteekehi (joonis 6.4.5).



**Joonis 6.4.5. Elektriline kiirguskütteekeha (näide). 1 kütteelement, 2 reflektor, 3 kaitseklaas, 4 soojuskiirgus**

Elekterkuumutust võidakse kasutada ka keskküttes. Sel juhul on keskküttekatel enamasti seadistatud samasuguste kütteelementidega nagu ülalvaadeldud kohtküttevahendid, kuid mõnedes tööstuspaigaldistes võidakse kasutada ka *elektroodkattlaid*, milles elektrienergia muundub soojuseks vees endas.

Väga levinud on elektriliste **küttekaablite** kasutamine. Eeskätt kasutatakse neid hoonete põrandaküttes (joonis 6.4.6), kuid levinud on ka nende kasutamine katuserennide, vihmaveetorude ja veevarustustorude jäätumise vältimiseks, lume sulatamiseks katustel, kõnniteedel ja tänavatel jne.

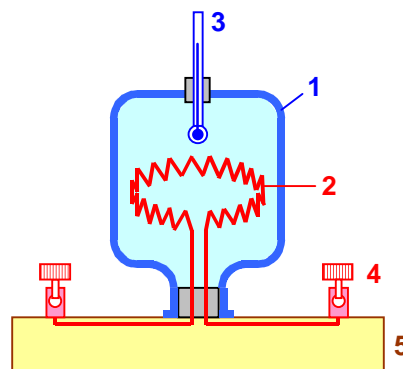


**Joonis 6.4.6. Elektrilise põrandakütte põhimõte. 1 põranda pealiskate (põrandakivid või -plaadid, parkett, plastikaatkate vm), 2 tasanduskiht, 3 küttekabel, 4 betoon, 5 soojusisolatsioon**

Hoonete kütteks kasutatakse ka laeküttekilesid, mida saab suhteliselt lihtsalt (ripplae moodustamise teel) paigaldada ka olemasolevatesse hoonetesse.

Hoonete elekterkütet reguleeritakse enamasti automaatselt, soovitavale temperatuurile seatavate *termostaatide* abil. Täpsemaks automaatregeerimiseks võidakse kasutada hooneväliseid temperatuuri, tuulesuuna, tuulekiiruse jm andureid.

Esimesena kasutas elektrilist küttekeha (elektrivoolu soojusliku toime uurimisel joonisel **6.4.7** kujutatud viisil) aastal 1842 Peterburi Teaduste Akadeemia akadeemik, Tartust pärit füüsik Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804–1865). Elekterkütte katseline uurimine algas aastal 1907, kui Romanos (Põhja-Itaalia) ehitati esimesed elektrilised salvestusahjud. Tegelikult kasutamise alguseks tuleb lugeda aastat 1912, mil Seattle'is (USA) varustati elekterküttega neli esimest elumaja. Käesoleval ajal kasutatakse elekterkütet laialdaselt odava elektrienergia saadavuse korral (nt. Norras ja Kanadas), kuid ka mugavuse ja töökindluse huvides. Paljud energiasüsteemid (nt Kesk-Euroopas) stimuleerivad salvestus-elekterkütte kasutamist regulaatoritarnijana süsteemi ööpäevase koormusgraafiku tasandamise eesmärgil.



**Joonis 6.4.7. Emil Lenzi katseseade elektrivoolu soojusliku toime uurimiseks. 1 piiritusega täidetud pudel, 2 elektriline küttekeha, 3 termomeeter, 4 klemm, 5 puidust alusplaat**

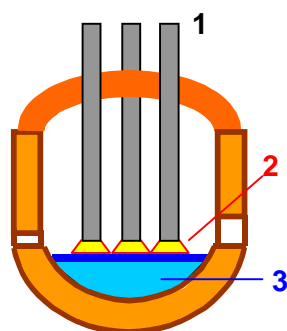
## 6.5 ELEKTROTEHNOLOOGIA

Elektrotehnoloogia seisneb elektrinähtuste otseses rakendamises materjalide ja esemete töötlemiseks. Nende nähtuste toime võib olla elektrotermiline, elektrokeemiline, magnetiline, elektrostaatiline, mehaaniline, kiirguslik või kombineeritud. Tööstuslikud elektrotehnoloogiaseadmed tarbivad tänapäeval ligikaudu 25 % kogu tööstuses kasutatavast elektrienergiast.

Võimsaimad elektrotehnoloogiaseadmed on **metallisulatusahjud**. Nende põhilikidena eristatakse füüsikalise põhimõtte ja elektrotermiliste protsesside iseloomu järgi

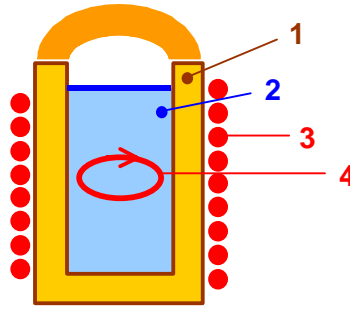
- kaarahjusid,
- induktsioonahjusid,
- takistusahjusid,
- kiirgusahjusid,
- elektronkiirahjusid.

**Kaarahjus** sulatatakse metall alalis- või vahelduvvoolu-elektrikaare toimel, mis tekitatakse metalli ja grafiitelektroodide vahel (joonis 6.5.1). Kaare intensiivust saab reguleerida voolu muutmisega ja elektroodide kaugusega metallist. Selliseid ahjusid saab valmistada võimsusega kuni mõnikümmend megavatti ja neid kasutatakse eeskätt terase, kuid ka muude metallide ja sulamite tootmisel.



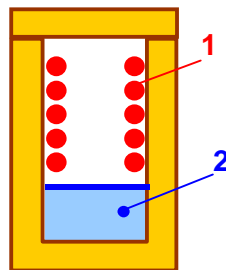
**Joonis 6.5.1. Kolmefaasilise kaarahju ehituspõhimõte. 1 grafiitelektroodid, 2 elektrikaar, 3 sulatatav metall**

**Induktsioonahi** koosneb lihtsaimal juhul tiiglist ja seda ümbritsevast vahelduvvoolumähisest, mis indutseerib sulatatavas metallis tugeva pöörivoolu (joonis 6.5.2). Erinevalt kaarahjust, milles kõrgetemperatuuriline elektrikaar võib esile kutsuda oksüdatsiooniprotsesse, on induktsioonahjudest saadav metall enamasti puhtam. Tarbe korral võib tiigel olla õhutihedalt suletud, kusjuures selle vaba ruum võib olla täidetud inertgaasiga (nt argooniga).



**Joonis 6.5.2. Induksioonahju ehituspõhimõte. 1 tiigel, 2 sulatatav metall, 3 induktormähis, 4 indutseeritud vool sulatatavas metallis**

**Takistusahjudes** toimub sulatatava metalli kuumutamine enamasti kaudselt – kõrgetemperatuuriliste metall- (nt malm-), ränikarbiid- (*karborundum*-) vm küttekehade abil, mis paiknevad ahju seintel ja/või laes (joonis **6.5.3**). Saavutatav temperatuur on piiratud küttekeha materjaliga ja ahju keskkonnaga. Õhus talitlevate küttekehade lubatav temperatuur ei ole tavaliselt üle 1000 °C, mistõttu sellised ahjud sobivad ainiult mõningate värviliste metallide sulatamiseks. Inertgaas- või vaakumahjude korral võidakse nt volframküttekehadega saavutada aga temperatuur kuni 3000 °C. Harvemini kasutatakse *otsekuumutust* voolu juhtimisega läbi sulatatava metalli.

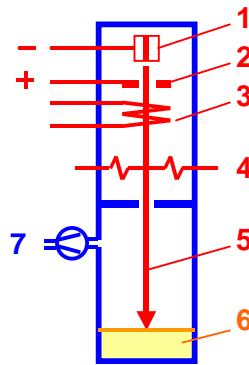


**Joonis 6.5.3. Takistusahju ehituspõhimõte. 1 küttekehad, 2 sulatatav metall. Metallil väljalaskesüsteem on näitamata**

**Kiirgusahjud** põhinevad enamasti infrapunakiirguse kasutamisel, mis tavaliselt saadakse väikesemõõtmeliste halogeenhõõglampide ja kiirgust kontsentreeriva peegelsüsteemi abil analoogiliselt joonisega **6.4.5**. Metallitiigel võib seejuures tarbe korral paikneda hermeetiliselt suletud, kvartsklaasist kaanega kambris.

**Elektronkiirahjusid** (joonis **6.5.4**) kasutatakse enamasti ülipuhtate metallide saamiseks nende sulatamise teel vaakumis. Ahju ülaosas paikneb võimas eriehitusega katood (*elektronkahur*), millest väljuvat elektronivoogu saab magnetlätsega fookustada ja juhtimismähise abil nihutada.





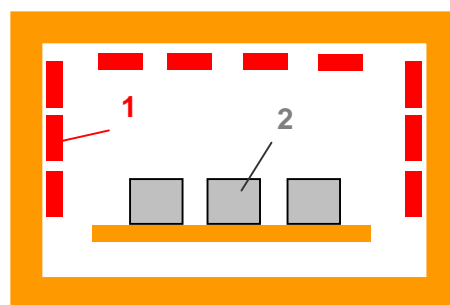
**Joonis 6.5.4. Elektronkiirahju ehituspõhimõte. 1 elektronkahur, 2 anood, 3 magnetlääts, 4 nihutusmähis, 5 elektronkiir, 6 sulatatav metall, 7 vaakumpump**

Esimese metallisulatus-elektriahju (terasesusulatus-kaarahju) ehitas aastal 1883 saksa-inglise ettevõtja William Siemens (1823...1883). Induktsioonahju leiutas aastal 1899 rootsi metallurg Frederik Adolf Kjellin (1872...1910).

Elektrienergiat kasutatakse ka metallide ja muude materjalide **kuumutamiseks** nende termilisel töötlemisel (karastamisel, lõõmutamisel, kuivatamisel, liimimisel jms). Selleks võidakse kasutada

- otsest või kaudset takistuskuumutust,
- madal- või kõrgsageduslikku induktsioonkuumutust,
- dielektrilist kuumutust,
- kiirguskuumutust.

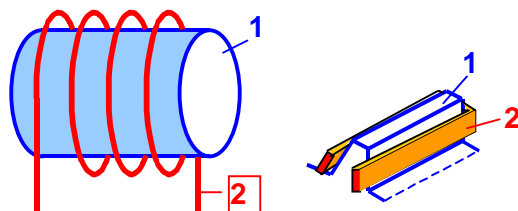
Üks lihtsamaid kuumutusviise seisneb **takistusahju** kasutamises (joonis 6.5.5). Ahju köetakse piisavalt kõrgetemperatuuriliste metall- (nt malm-), ränikarbiid- vm küttekehadega, mis paiknevad ahju sisepindadel (seintel, laes, põrandal või sobivatel kandetarinditel). Sageli läbib sellist ahju konveier, millel termiliselt töödeldavad (nt portselan-) esemed võivad vastavalt tehnoloogilise protsessi kujundusele läbida järjekorras mitut eri temperatuuriga tsooni.



**Joonis 6.5.5. Elektrilise takistusahju ehituspõhimõte. 1 küttekeha, 2 kuumutatav ese**

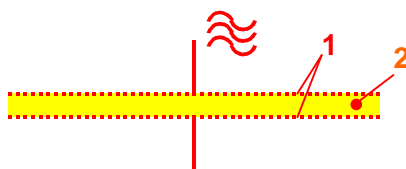
Takistusahjudega sarnanevad ka **autoklaavid**, milles elektriliste küttekehade abil luuakse kõrgrõhuline veeaurukeskkond materjalide töötlemiseks või katsetamiseks.

**Induksioonkuumutamisel** ümbritsetakse kuumutatav metallese või selle osa sobivalt kujundatud induktoriga, mis võib koosneda ühest või mitmest vajaliku kujuga keerust või olla kujundatud korrapärase mähisena (joonis 6.5.6). Madalal sagedusel (mõnest hertsist mõnekümne hertsini) tungib elektriväli metalli suhteliselt suure sügavuseni ja sobib näiteks lõõmutamiseks. Kõrgel sagedusel (mõnest mõnesaja kilohertsini) on elektromagnetvälja sissetungimissügavus sageli vaid mõni kümnendik millimeetrit, mistõttu selline kuumutusviis sobib eriti hästi pindkarastuseks.



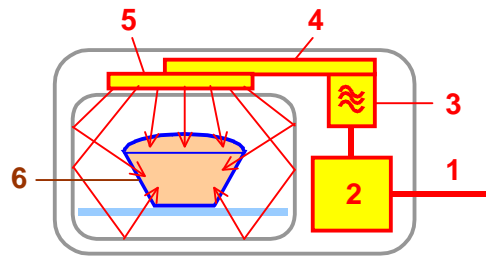
**Joonis 6.5.6. Induksioonkuumutus. Vasakul madalsagedusliku, paremal kõrgsagedusliku kuumutuse põhimõte. 1 kuumutatav ese (paremal – näitena hammasratta hammas), 2 induktor**

**Dielektriline kuumutus** põhineb kõrgsagedusliku (sagedusega mõni kuni mõnisada megaherts) elektrivälja rakendamises dielektrilisele materjalile tasapinnalise kondensaatori taoliste, enamasti võrkelektroodide vahel (joonis 6.5.7). Kuna dielektrik ei ole kunagi ideaalne (lõpmata suure eritakistusega), tekib selles energia neeldumine ning kuumenemine ja selle tulemusel soovikohased füüsikalised protsessid (kuivamine, kõvenemine, polümeriseerumine jms).



**Joonis 6.5.7. Dielektrilise kuumutuse põhimõte. 1 võrk- vm elektroodid, 2 kuumutatav materjal**

**Kiirgusahjud** võivad põhineda ülirkõrgsagedusliku raadiokiirguse või optilise (enamasti infrapunase) kiirguse kasutamisel. Väga levinud on nt suhteliselt väikese võimsusega (kuni mõni kilovatt) *mikrolaineahjud*, milles magnetrongeneraatorite abil saadav kiirgus (tavaliselt standardse lainepikkusega 12,25 cm) suunatakse lainejuhi ja antenni abil ahju kuumutusruumi, kus see neeldub kuumutatavas esemes (joonis 6.5.8). Enamasti kasutatakse selliseid ahjusid toiduvalmistamiseks, kuid neid võidakse rakendada ka muul otstarbel.



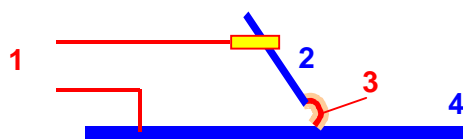
**Joonis 6.5.8. Mikrolaineahju ehituspõhimõte. 1 elektritoide, 2 muundus-, juhtimis-, reguleerimis- ja automaatikaplokk, 3 magnetrongeneraator, 4 lainejuht, 5 ketasantenn, 6 kuumutatav ese**

Mikrolaineahju ehitamise võimaluse avastas juhuslikult radarseadmete uurimisel aastal 1945 USA elektroonikafirma *Raytheon Corporation* insener, tehnikadoktor Percy Spencer (1894...1970), kes aga kohe taipas selle avastuse suurt tähtsust olmeelektronikas. Sama firma alustaski aastal 1953 esimesena maailmas olme-mikrolaineahjude tootmist [1.15].

Elektrotehnoloogia üks tähtsaimaid alajaotusi on **elekterkeevitus**. Käesoleval ajal on laialt kasutusel

- kaarkeevitus,
- kontaktkeevitus (punkt- ja joonkeevitus),
- elektronkiirkeevitus,
- laserkeevitus.

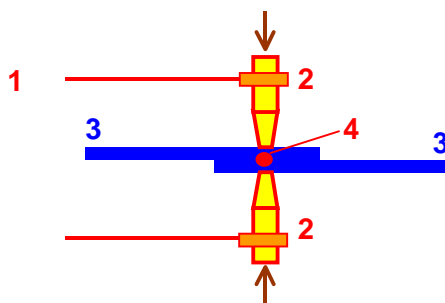
**Kaarkeevitusel** sulatatakse enamasti keevituselektrood elektrikaare toimel *keevisõmbluse* näol liidetavate metallosade vahele (joonis 6.5.9). Keevitamine võib toimuda käsitsi, kuid kasutatakse ka mitmesuguseid keevitusmasinaid ja -roboteid. Keevituse parim kvaliteet saadakse **alalisvoolu** kasutamisel, mistõttu nüüdisajal toidetakse keevituskaart enamasti sellekohastest *keevitusalditest*. Varem on kasutatud ka keevitustrafosid (need on praegugi veel kasutusel) ja veel varem alalisvoolu-keevitusgeneraatoreid.



**Joonis 6.5.9. Kaarkeevituse põhimõte. 1 elektritoide, 2 keevituselektrood, 3 keevituskaar, 4 keevitatav detail**

**Kontaktkeevitus** põhineb soojuse tugeval eraldumisel, kui vool läbib kokkukeevitatavate detailide kokkupuutekoha kontakttakistust (joonis 6.5.10). Kontaktkeevituse levinuim liik – **punktkeevitus** on laialt levinud lehtmaterjalist keerukate detailide kokkuühendamisel nt autotööstuses ja toimub sageli *keevitusrobotite* abil.

**Elektronkiirkeevitus** toimub samal põhimõttel nagu elektronkiir-metallisulatus (vt joonis 6.5.4). **Laserkeevitust** kasutatakse väga peente ja täpsete keevisõmbluste saavutamiseks mitte üksi metallide, vaid ka elektriliselt mittejuhtivate materjalide ja kahe või enama eri materjali kokkukeevitamisel.



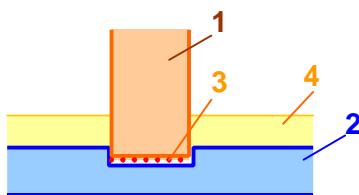
**Joonis 6.5.10. Punktkeevituse põhimõte. 1 elektritoide, 2 keevituselektroodid, 3 keevitatavad detailid, 4 kokkusulamispunkt**

Keevitusviise on tugevasti rohkem kui eespool loetletud. Mõningaid keevitamisel kasutatavaid protsesse (eeskätt elektrikaart ja laserkiirt) saab kasutada ka materjalide **lõikamiseks**.

Kaarkeevitust kasutas esimesena aastal 1890 vene insener Nikolai Slavjanov (1854–1897), kontaktkeevitust aga aastal 1886 USA viljakas leidur ning ettevõtja professor Elihu Thomson (1853–1937).

Vanimaks elektrotehnoloogiliseks menetluseks tuleb lugeda **elektrolüüsi**, sest juba aastal 1803 õnnestus rootsi keemikul ja mineraloogil Jöns Jacob Berzeliusel (1779–1848) eraldada sel viisil soolalahustest puhtaid metalle ja veel varem (aastal 1800) olid inglise füüsikud Anthony Carlisle (1768–1840) ja William Nicholson (1753–1815) lahutanud vee elektrolüüsi teel vesinikuks ja hapnikuks. Käesoleval ajal saadakse elektrolüüsi teel kogu elektrotehnika jaoks vajalik vask ja alumiinium ning mitmeid teisi puhtaid metalle. Seejuures on alumiiniumi elektrolüüs üks kõige energiamahukamatest tööstusprotsessidest (1 t alumiiniumi saamiseks on vaja ligikaudu 14 MWh elektrienergiat). Tunduvalt väiksema võimsusega on **galvaaniliste pinnakatete** saamiseks (hõbetamiseks, kuldamiseks, kroomimiseks, nikeldamiseks jne) vajalikud galvaanikavannid.

Elektrotehnoloogiliste protsesside hulgas väärub nimetamist ka **elektroerosioon-töötlus**, mis põhineb töödeldava eseme korrosioonil säde- või -impulsslahenduse toimel, mida rakendatakse sagedusega mõnikümmed hertsi kuni mõni kiloherts (joonis 6.5.11). Sellisel viisil võidakse näiteks puurida ükskõik millise kujuga avasid (sealhulgas ka nt kõverjoonelise teljega) ükskõik kui kõvasse metalli; need eelised kompenseerivad enamasti täielikult töötamise aegluse.



**Joonis 6.5.11. Elektroerosioonitöötamise põhimõte. 1 elektrood, 2 töödeldav ese, 3 säde- või impulsslahendus pilus laiusega 0,01...0,2 mm, 4 isoleervedelik (nt petrool või õli)**

Elektroerosioonitöötamise alused löid vene masinaehitustehnoloogid abielupaar Boris ja Natalja Lazarenko aastal 1943.

## 6.6 ELEKTERVALGUSTUS

Valgustuseks kulub maailmas ligikaudu 10 % kogu toodetavast elektrienergiast.

**Valgusallikaina** kasutatakse seejuures peaausjalikult kolme liiki lampe –

- hõõglampe,
- lahenduslampe,
- valgusdioode.

On olemas ka muid lambiliike, kuid nende osatähtsus võrreldes kolme mainituga on kaduvväike.

Valgusallikad paiknevad **valgustusvahendeis**, mille hulgas olulisimad on

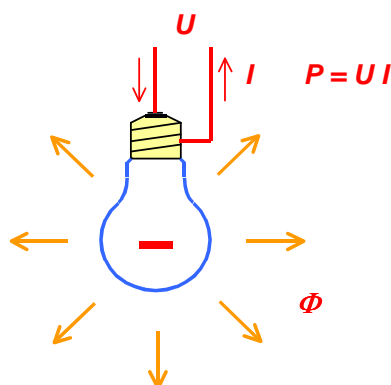
- valgustid,
- prožektorid,
- projektorid,
- valgussignalisatsioonivahendid.

Valgustatavate alade järgi eristatakse sise- ja välisvalgustust, otstarbe järgi – töö-, turva-, signalisatsiooni-, valve-, ehis-, reklaam- jm valgustust. Kõige enam kasutab inimene sisetöökohtade valgustust, mis ühtlasi on, arvestades väga mitmesuguseid tehtavaid töid ja ümbruseolusid, kõige mitmekesisem. Keskmise keerukusega nägemistööde korral (näiteks lugemisel ja kirjutamisel) kasutatakse tööruumides enamasti **üldvalgustust**, keerukatel töödel, kui tugevamat valgustust on vaja suhteliselt väikesel tööpinnal, lisaks üldvalgustusele veel **kohtvalgustust**.

Elektrilisi valgusallikaid iseloomustatakse paljude tunnussuuruste ja omadustega, millest olulisimad on

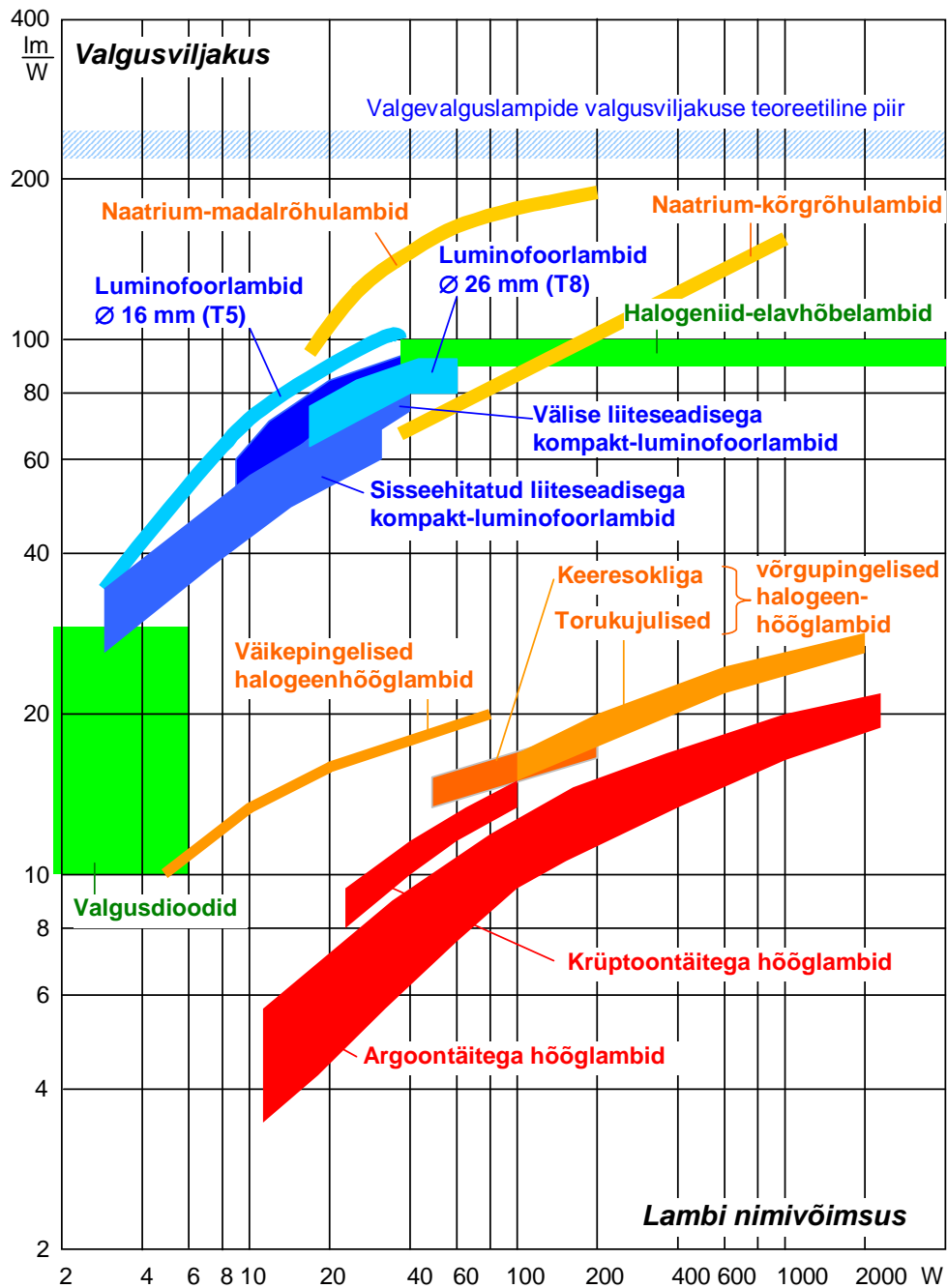
- nimipinge  $U_n$ ,
- nimivõimsus  $P_n$ ,
- nimivalgusvoog  $\Phi_n$ ,
- nimivalgusviljakus  $\eta_n = \Phi_n / P_n$  (nimivalgusvoo ja nimivõimsuse suhe).

Lihtsustatult on valgusallika tunnussuurused esitatud joonisel 6.6.1.



Joonis 6.6.1. Energia muundamine elektrilises valgusallikas.  $U$  pinge,  $I$  vool,  $P$  võimsus,  $\Phi$  valgusvoog

Valgusvoo ühik on teatavasti **luumen** (lm), valgusviljakuse ühik seega **luumen vati kohta** (lm/W). Valgusviljakuse teoreetiline piir on 683 lm/W, mis oleks võimalik siis, kui lambi kogu tarbitav võimsus muunduks ilma mingite kadudeta monokromaatiliseks kiirguseks lainepikkusega 555 nm (sellel lainepikkusel on inimesilm kiirgusele kõige tundlikum). Ühtlase spektriga valge valguse korral on suurim võimalik valgusviljakus ligikaudu 250 lm/W. Valgusallikate tegelik valgusviljakus on enamasti vahemikus 10 kuni 100 lm/W, olenedes lambi tüübist ja nimivõimsusest. Mõnede lambiliikide valgusviljakused on esitatud joonisel **6.6.2**.



**Joonis 6.6.2. Mõnede lambiliikide valgusviljakus olenevalt lambi nimivõimsusest**

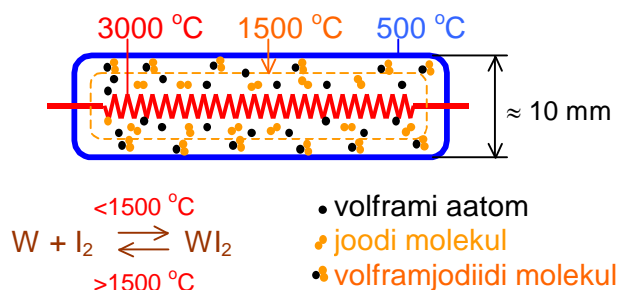
Valgusviljakusega iseloomustatakse mitte üksi elektrilisi, vaid ka muid valgusallikaid. Nii näiteks on küünla valgusviljakus 0,1...0,2 lm/W, Päikese valgusviljakus 110 lm/W ja jaanimardika valgusviljakus ligi 500 lm/W.

**Hõõglampide** hõõgniidid valmistatakse nüüdisajal peaaegu eranditult **volframist**, mille sulamistemperatuur on 3380 °C ja mis, olenevalt lambi tüübist ja võimsusest, talitleb temperatuuril 2300...3100 °C. Mida kõrgem on talitlustemperatuur, seda kõrgem on lambi valgusviljakus. Võimalikult kõrge talitlustemperatuuri saavutamiseks kasutatakse eeskätt

- hõõgniidi kujundamist keermikuna või topeltkeermikuna (sellega väheneb niidi aurustumispindala),
- lambi täitmist võimalikult raske inertgaasiga (enamasti argooni või krüptoniga),
- halogeenide (enamasti joodi või broomi) lisamist täitegaasile.

Valgusviljakust suurendab ka väiksem nimipinge, sest sel juhul on samaksjäával võimsusel lambi vool ning hõõgniidi ristlõige suurem, mistõttu lubatav temperatuur on mõnevõrra kõrgem.

**Halogeenhõõglambid** põhinevad sellel, et hõõgniidilt aurustunud volfram ühineb mingi halogeeniga (enamasti joodi või broomiga) *volframhalogeniidiks*, mille aurustumistemperatuur on tugevasti madalam kui volframil. Kui lambi kolvi temperatuur on piisavalt kõrge, ei saa see ühend kolvile sadestuda, mistõttu lambis tekib halogeniidi ja volframi aurude küllastus ja hõõgniidi aurustumine lakkab. Et seda saavutada, peab kolvi temperatuur olema enamasti ligikaudu 500 °C. Seetõttu valmistatakse selliste lampide kolvid kuumuskindlast kvartsklaasist ja nende mõõtmed on tugevasti väiksemad kui tavalistel hõõglampidel. Halogeenhõõglambi talitluspõhimõtte on esitatud joonisel 6.6.3.



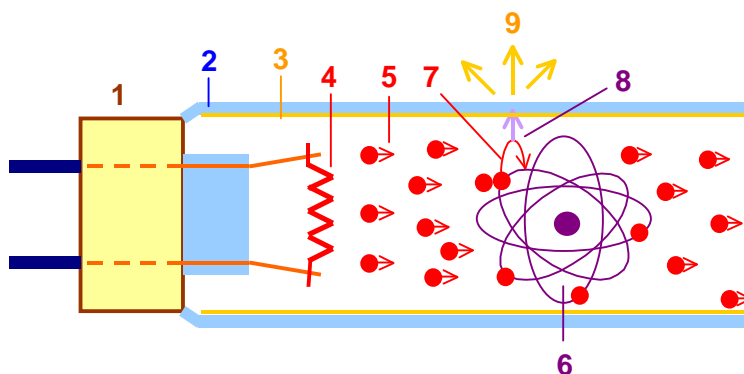
**Joonis 6.6.3. Halogeen- (jood-) hõõglambi talitluspõhimõtte (näide)**

Esimesed masskasutamiseks sobivad (süsiniit-) hõõglambid valmistasid aastal 1879 USA leidur ning tööstur Thomas Alva Edison (1847–1931) ja inglise leidur ning tööstur Joseph Wilson Swan (1828–1914). Volframniitide tootmise tehnoloogia töötas välja aastal 1906 USA füüsik William David Coolidge (1873–1975), inertgaastäite võttis kasutusele aastal 1913 USA keemik ning füüsik Irving Langmuir (1881–1957), halogeenhõõglampide tootmist alustas aastal 1958 USA firma *General Electric*.

Hõõglambid on lihtsa ehitusega, väikeste mõõtmetega, odavad ja hõlpsad kasutada, kuid nende puudusteks on madal valgusviljakus (enamasti 10...30 lm/W) ja suhteliselt lühike eluiga (tavaliselt 1000...2000 tundi). Seetõttu on laialt kasutusel **lahenduslambid**, mis enamasti põhinevad **kaarlahendusel** madala sulamistapiga metalli (enamasti elavhõbeda või naatriumi) aurus. Selliste lampide valgusviljakus on olenevalt lambi tüübist ja võimsusest enamasti vahemikus 40...150 lm/W, eluiga aga

tavaliselt 5 000 kuni 15 000 tundi. Ka võib lahenduslampides nt luminofooride kasutamise teel saada mitmesuguse, sealhulgas päevavalguse taolise spektriga valgust, mis on eriti tähtis siis, kui nägemistöö nõuab värvide õiget tuvastamist.

Levinuima lahenduslampi – madalrõhulise, luminofoor-sisekattega elavhõbelambi (*madalrõhu-luminofoorlampi*) ehituspõhimõte on kujutatud joonisel 6.6.4. Seda liiki lambid annavad praegu ligikaudu 90 % kogu maailma elektriliste valgusallikate valgusvoost.



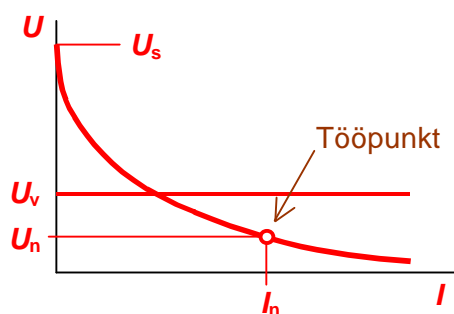
**Joonis 6.6.4. Torukujulise madalrõhu-luminofoorlampi ehitus- ja talitluspõhimõte. 1 sokkel, 2 kolb, 3 kolvi sisepinnale kantud luminofoorikiht, 4 elektrood, 5 elektronide voog, 6 elavhõbeda-aatom, 7 elavhõbeda-aatomi elektroni ergastumine ja naasmine stabiilsele tasemele, 8 ultraviolettkiirguse kvant, 9 luminofooris muundatud väljundkiirgus**

Madalrõhu-elavhõbelambis on luminofoori kasutamine hädavajalik, kuna elavhõbe-kaarlahenduses tekib peaausjalikult ultraviolettkiirgus, mis on valgustuseks sobimatu. Teine võimalus vastuvõetava kiirgusspektri saamiseks seisneb kõrgema rõhu (tavaliselt 10...200 kPa) ja muudest metallidest (naatriumist, indiumist, talliumist jm) lisandite kasutamises. Et need metallid ei saaks sadestuda kolvile, viiakse nad lampi halogeniidide kujul, mistõttu selliseid lampe nimetatakse **halogeniidlampideks**. Lisametallide sobiva valikuga võib saavutada kõrge valgusviljakuse (enamasti 90...100 lm/W) ja päevavalgusega praktiliselt ühtiva spektri.

Kaarlahendusel **naatriumiaurus** ultraviolettkiirgust ei teki. Madalrõhuliste naatrium-lampide valgus on aga monokromaatiline (lainepikkusega 589 nm), mistõttu selles valguses ei saa eristada värve. Lambi valgusviljakus on aga kõrge (kuni 200 lm/W) ja sellised lambid sobivad hästi teede ja tänavate valgustamiseks. Kõrgrõhulampide spekter on laiem, kuid samuti oranžikaskollane, mistõttu ka neid lampe kasutatakse peaausjalikult välisvalgustuses.

Kaarlahenduse pinge sõltuvus voolust on teatavasti langev (joonis 6.6.5), mistõttu kaarlahenduslampe ei saa lülitada otse võrgupingele (tekiks voolulaviin ja lamp põleks läbi). Peale selle on kaare süütamiseks enamasti vaja võrgupingest kõrgemat pingeimpulssi. Seetõttu tuleb kõik lahenduslambid varustada **liiteseadisega**, mis tagab lambi süttimise ning stabiilse talitluse.





**Joonis 6.6.5. Kaarlahenduslambi pinge sõltuvus voolust (alalisvoolul).  $I_n$  lambi nimivool,  $U_n$  lambi nimipinge,  $U_v$  võrgupinge,  $U_s$  lambi süütamiseks vähimalt vajalik pinge**

Lihtsaim liiteseadis koosneb vahelduvvoolu korral induktiivtakistist (*drosselist*), mis ühendatakse lambiga jadamisi, ja impulsspingeallikast (*süüturist*). Nüüdisajal eelistatakse liiteseadisena aga **sagedusmuundurit** väljundsagedusega 20...50 kHz, mis tagab

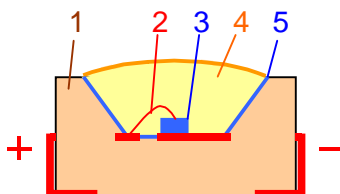
- lambi värelusvaba talitluse (*väreluseks* nimetatakse vahelduvvoolulampidele omast valgusvoo perioodilist muutumist vastavalt voolu hetkväärtuse perioodilisele muutumisele; lahenduslampide värelus võrgusagedusel võib mõnikord lubamatult häirida inimese silma ja aju talitlust),
- lambi süttimise ilma spetsiaalsete süüturite kasutamiseta,
- kiire ja sujuva süttimise,
- väiksema energiakao (ligikaudu kaks korda väiksema kui drosseli kasutamisel),
- lambi pikema eluea,
- lambi kõrgema valgusviljakuse,
- liiteseadise väiksema massi.

Liiteseadis võib kujutada endast eraldi aparati, kuid võib olla ka lambiga kokku ehitatud. Liiteseadist sisaldavat lampi nimetatakse **kompaktlampiks** ja tihtipeale varustatakse see samasuguse keeresokliga nagu hõõglambid, et energiasäästu eesmärgil saaks hõõglampe kompakt-lahenduslampide vastu lihtsalt välja vahetada. Selle omaduse tõttu nimetatakse selliseid lampe ka **säästulampideks**.

Esimese lahenduslambi (süsielektroodide vahel vabas õhus põleva alalisvoolu-elektrikaarega) valmistas oma laboratooriumilaua valgustamiseks aastal 1844 prantsuse füüsik Jean Bernard Léon Foucault (1819–1868). Tänavate ja välistöokohtade valgustamiseks sobiva lihtsa vahelduvvoolu-kaarlampi leiutas aastal 1876 Pariisis tegutsev vene telegraafiinsener Pavel Jablotškov (1847–1894). Katselisi madalrõhulisi elavhõbeluminofoorlampe demonstreeris firma *Osram* Pariisi maailmanäitusel aastal 1935, kaubalisi seda tüüpe lampe aga USA firmad *General Electric* ja *Westinghouse* New Yorgi ja San Francisco maailmanäitusel aastal 1938. *General Electric* töötas aastal 1963 välja ka naatrium-kõrgrõhulambid, mida praegu eelistatult kasutatakse tänavavalgustuses. Halogeenid-elavhõbelampe hakkas aastal 1969 esimesena tootma Saksamaa firma *Osram*, kes rakendas neid väga efektselt aastal 1972 Müncheni olümpiamängude spordirajatistes. Esimesed kompakt-luminofoorlampid töötas aastal 1981 välja Hollandi firma *Philips*.

Alates aastast 2000 on peaaegu plahvatuslikult hakanud levima **valgusdiiodide** kasutamine valgustuspaigaldistes. Valgusdiiod on väikepingeline (enamasti alalispingel 3...7 V talitlev) väikesemõõtmeline (läbimõõduga enamasti 1...5 mm) pooljuhtelement, mis on varustatud sisseehitatud nõguspeegli ja läätsega ja mis seetõttu kiirgab valgust kitsama või laiema vihuna mingis ühes suunas. Neid saab valmistada nii värvilistena (punastena, kollastena, rohelistena, sinistena) kui ka valgetena. Valgustuseks võidakse kasutada kas valgeid valgusdiioode või värviliste

diodide selliseid kombinatsioone, mis värvide segunemisel annavad valge valguse. Valgustuseks ettenähtud *jõu-valgusdiodide* (joonis 6.6.6) üksikvõimsus on käesoleval ajal 1...5 W, nimipinge 3,6 või 6,8 V, valgusvilkakus 10...30 lm/W ja eluiga kuni 40 000 tundi. Väikese üksikvõimsuse tõttu valmistatakse mitmest valgusdiodist koosnevaid mooduleid, mida võidakse kujundada tavapärase lampidena, valgusplaatidena või -lintidena.

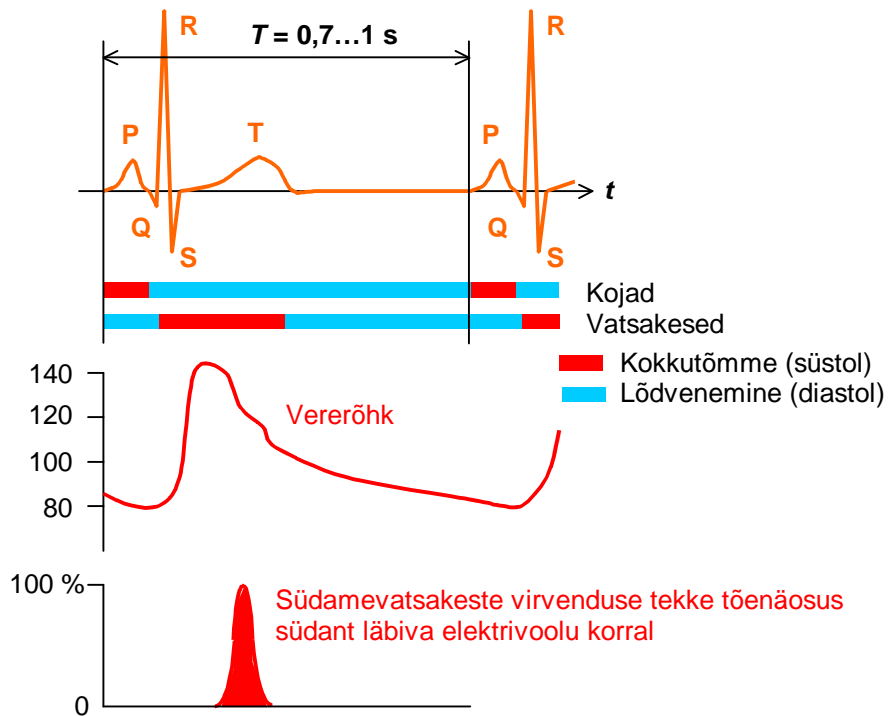


**Joonis 6.6.6. Jõu-valgusdiodi ehituspõhimõte. 1 alus, 2 kuld-kontakttraat, 3 pooljuhtdiod, 4 lääts (võib sisaldada luminofoori), 5 peegelpind**

Esimesed (punased) valgusdiodid valgusvilkakusega 0,2 lm/W tulid kasutusele USA-s aastal 1961 ja leidsid kohe kasutamist pisi-signaallampidena. Aastal 1975 lisandusid oranžid, kollased ja rohelised valgusdiodid, mis võimaldasid luua mitmevärvilisi valgussignalisatsiooniseadiseid valgusvilkakusega ligikaudu 2 lm/W. Kasutamine töövalgustuses sai võimalikuks pärast siniste valgusdiodide väljatöötamist aastal 1982, eriti aga pärast valgete ning senistest võimsamate valgusdiodide turuletulekut. Praegu on valgusdiodid hakanud reklaamvalgustuses välja tõrjuma kõrgepingelisi huumlahenduslampe, valgusfoorides, autode signaaltuledes ja kandevalgustites aga hõõglampe.

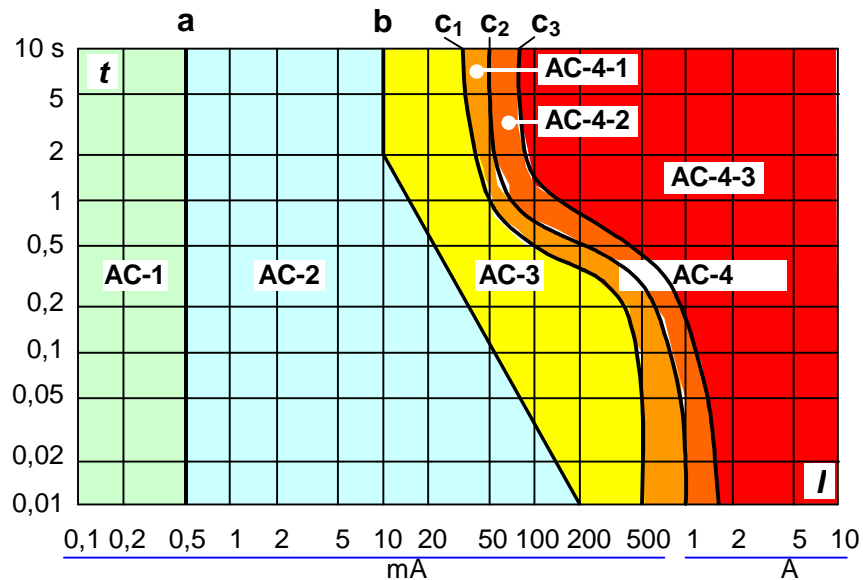
## 6.7 OHUTUSE TAGAMINE ELEKTRIENERGIA KASUTAMISEL

Pingestatud juhtivate osade puudutamisel (kõrgepingepaigaldistes aga isegi nendele osadele lähenemisel) võib inimene saada elektrilöögi. Elektrivoolu toime inimesele oleneb voolu liigist, voolu väärtusest ja kestusest. Eluohtlik on vool siis, kui see kulgeb läbi inimese südame ja kutsus esile südamevatsakeste lihaste koordineerimatu virvenduse (*fibrillatsioon*). Sel juhul lakkab vereringe ja kogu inimkeha, sealhulgas aju, ei saa enam verega edasikantavast hapnikku ega veresuhkrut. Aju võib verevarustuse katkemist taluda enamalt 5 minutit, misjärel saabub surm. Loomkatsetega on kindlaks tehtud, et impulssvoolu korral tekib südamevatsakeste virvendus siis, kui vooluimpulss satub vatsakeste kokkutõmbefaasi keskosale, mille kestus on ligikaudu 10...20 % südametegevuse perioodist ehk ligikaudu 0,1...0,2 s. Elektrokardiogrammil vastab sellele niinimetatud *T-saki* algusosa (joonis 6.7.1) Seega võivad väga lühikesed vooluimpulsid, kui nad ei satu sellele kriitilisele ajavahemikule, osutada ka voolu suure väärtuse korral mõnikord ohututeks.



**Joonis 6.7.1. Elektrokardiogramm, südamekoodade ja -vatsakeste talitus, vererõhk ja vatsakeste virvenduse tekke tõenäosus südant läbiva elektrivoolu korral (kõik tugevasti lihtsustatult).  $t$  aeg,  $T$  südame tegevuse periood**

Eeltoodu ning sellekohaste uurimuste alusel on Rahvusvaheline Elektrotehnikakomisjon koostanud voolu ohtlikkust iseloomustavad diagrammid [6.5], mis vahelduvvoolu jaoks on kujutatud joonisel 6.7.2.



**Joonis 6.7.2. Võrgusagedusliku (sagedusega 50 või 60 Hz) vahelduvvoolu toime täiskasvanud inimesele.  $I$  inimkeha läbiva voolu efektiivväärtus,  $t$  voolu kestus. AC-1, AC-2, AC-3, AC-4-1, AC-4-2 ja AC-4-3 voolu toime piirkonnad, a, b,  $c_1$ ,  $c_2$  ja  $c_3$  piirkondadevahelised lävikõverad**

Joonisel **6.7.2** iseloomustatakse voolu ja selle kestuse toimet nelja piirkonnaga:

- piirkond **AC-1** (voolu väärtuseni kuni 0,5 mA), milles inimene voolu tavaliselt peaaegu üldse ei tunne,
- piirkond **AC-2**, milles voolu toime on selgelt tunda, kuid tavaliselt ei põhjusta see mingeid ohtlikke füsioloogilisi nähtusi,
- piirkond **AC-3**, milles vool tavaliselt ei põhjusta organismi kahjustusi, võib aga esile kutsuda lihaste krampi, hingamisraskusi ja südametegevuse rütmihäireid, kuid veel mitte südamevatsakeste virvendust,
- piirkond **AC-4**, milles vool võib põhjustada südamevatsakeste virvendust ning selle tagajärjel vereringe peatumist.

Eluohulik piirkond AC-4 jagatakse kolmeks alapiirkonnaks:

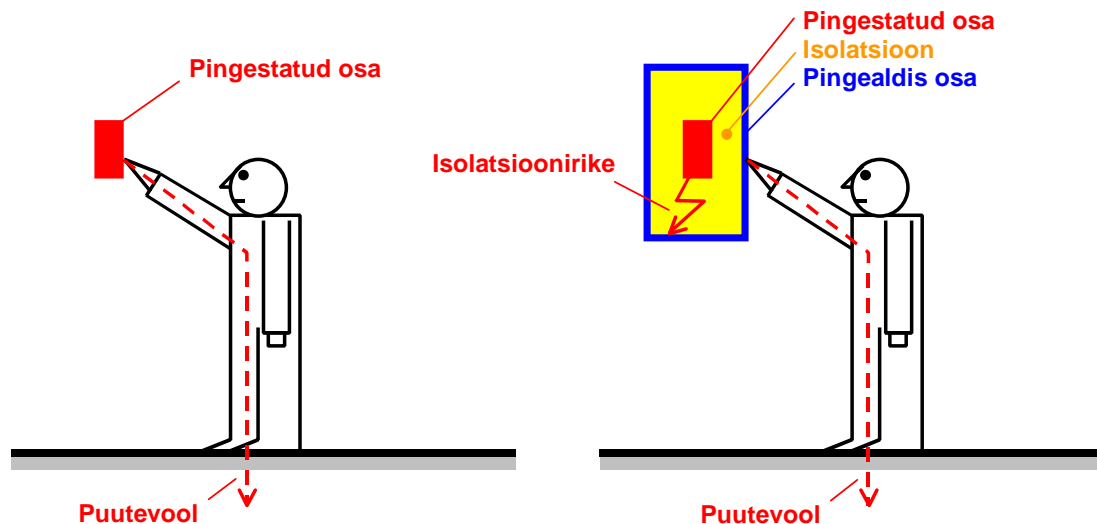
- piirkond **AC-4-1**, milles südamevatsakeste virvenduse tekke tõenäosus on suhteliselt väike ega ületa tavaliselt 5 %,
- piirkond **AC-4-2**, milles südamevatsakeste virvenduse tekke tõenäosus on suurem kui 5 %, kuid mitte üle 50 %,
- piirkond **AC-4-3**, milles südamevatsakeste virvenduse tekke tõenäosus on suurem kui 50 %.

Lühend AC tuleb ingliskeelsest terminist *alternating current* ('vahelduvvool').

Madalpingepaigaldistes nimipingega 230/400 V võib inimene sattuda halvimal juhul faasidevahelise pingega alla, mille efektiivväärtus on 400 V. Kuna inimese keha takistus on tavaliselt 0,5...2 kΩ, võib läbi keha kulgeda vool 0,2...0,8 A, mis on selgelt eluohulik.

Inimene võib pingega alla sattuda kahel viisil:

- puudutades elektriseadme osa, mis normaaltalitusel on pingestatud (**otsepuute** teel nagu joonisel **6.7.3** vasakul),
- puudutades elektriseadme või muu seadme osa, mis on sattunud pingega alla isolatsioonirikke tõttu (**kaudpuute** teel nagu joonisel **6.7.3** paremal); elektriseadme juhtivaid osi, mis isolatsioonirikke korral pingega alla võivad sattuda, nmetatakse **pingealdisteks** osadeks.



Joonis 6.7.3. Otsepuutel (vasakul) ja kaudpuutel (paremal) tekkiv elektrilöök (näited)

Kaitset otsepuute eest nimetatakse **põhikaitseks** ja seda saab realiseerida järgmiste kaitsevõtetega:

- **põhiisolatsioon** (isolatsioon, mida ei saa kõrvaldada muidu kui purustamise teel);
- kõrgemat ohutustaset tagav **lisaisolatsioon** (nt topelt- või tugevdatud isolatsioon); seda isolatsiooni nimetatakse ka *kaitseisolatsiooniks*;
- **kaitsevääkepinge**, mille korral läbi inimkeha ei saa tekkida eluohtlikku voolu; selle pinge enimalt lubatav väärtus nii juhtide vahel kui ka maa suhtes on vahelduvvooluahelates 50 V, alalisvooluahelates aga 120 V;
- puudutamist takistavad **kaitsekatted** ja **-ümbrised**;
- lähenemist takistavad **kaitsetõkked**;
- **mittejuhtiva ümbruse** loomine (isoleerpõrandate ja -seinte vms näol);
- elektriseadme paigutamine **väljapoole puuteküündivust**;
- pingealustel töodel – **isoleertööriistade ja -kaitsevahendite** kasutamine.

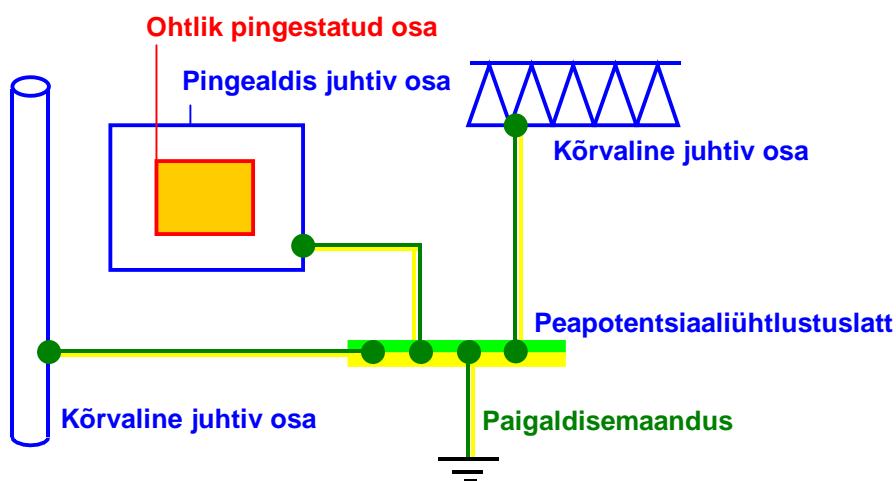
Kaitset kaudpuute korral (**rikkekaitset**) saab realiseerida

- pingealdiste osade maandamisega kaitsejuhtide kaudu (**kaitsemaandamisega**),
- seadme kiire **automaatse väljalülitamisega** pingealdiste osade pinge alla sattumisel,
- pingealdiste ja kõrvaliste juhtivate osade **potentsiaalide ühtlustamisega** potentsiaaliühtlustusjuhtide abil,
- **elektrilise eraldusega** nt spetsiaalsete eraldustrafode abil,
- samaaegselt põhikaitsega nt kaitseisolatsiooni, kaitsevääkepinge, kaitsekatete jms abil.

Nimetatud kaitsevõtteid võib kasutada ka mitmel viisil kombineeritult. Igal juhul peavad aga kõigis elektripaigaldistes olema kasutusel **mõlemad kaitseviisid**, nii põhi- kui ka rikkekaitse. Eriti ohtlikes oludes (märja ümbruse, välisolude jms korral) tuleb aga ette näha veel **lisakaitse**, mida madalpingepaigaldistes realiseeritakse **rikkevoolu-kaitseülilititega**. Sellised kaitseülilitid rakenduvad siis, kui rikked, mis võib olla tingitud inimese sattumisest pinge alla otse- või kaudpuute teel, tekib vool 30 mA või enam. Joonise 6.7.2 järgi võib sellest suurema voolu kestval toimel tekkida

südamevatsakeste virvenduse oht. Peale selle nõutakse, et see lüliti rakenduks hiljemalt 30 ms jooksul, mis hoiab ära ohtliku kestusega vooluimpulsi tekke voolu korral kuni umbes 0,4 A (selline vool võib aga tekkida, nagu eelpool näidatud, otsepuutel pinge 400 V korral inimkeha takistuse 1 k $\Omega$  juures).

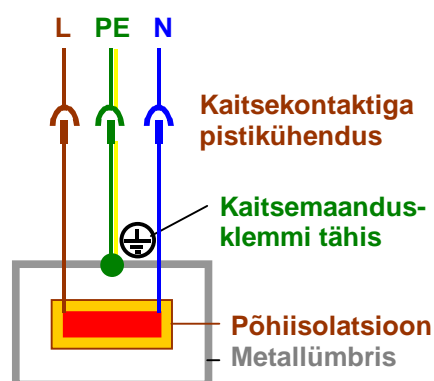
Eriti tähtsaks loetakse **potentsiaaliühtlustust** koos paigaldisemaandusega, mis soovitatakse paigutada kinnise kontuurina (järgides ehitise perimeetrit) ehitise vundamenti (*vundamendimaandusena*). Potentsiaaliühtlustuse (joonis 6.7.4) kasutamisel on kõigi puutevõimalike juhtivate osade potentsiaal ühesugune ja puutepinge on kaudpuute korral järelikult ligikaudu null.



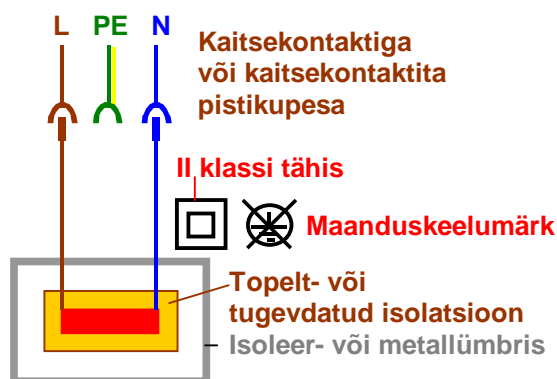
**Joonis 6.7.4. Potentsiaaliühtlustuse põhimõte ehitise elektrisisendis**

Kõigi madalpingeliste elektritarvitite ehituses, nagu juba öeldud, peab olema ette nähtud nii põhi- kui ka rikkekaitse, vajaduse korral rakendatakse aga ka lisakaitset. Põhi- ja rikkekaitseviiside järgi jagatakse nad kolme kaitseklassi:

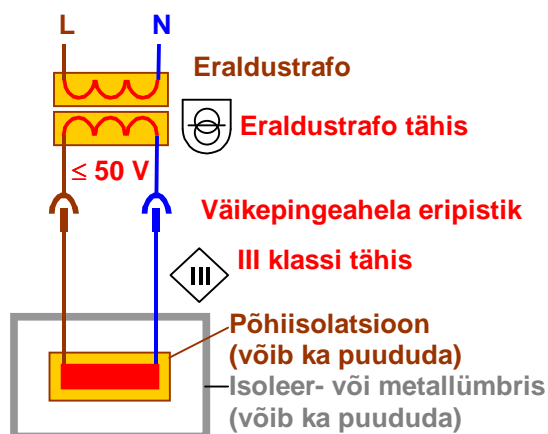
- I klass, mille põhikaitse on tagatud põhiisolatsiooniga, rikkekaitse aga maandatud kaitsejuhi külgeühendamisega (joonis 6.7.5);
- II klass, milles nii põhi kui ka rikkekaitse on tagatud topelt- või tugevdatud isolatsiooniga (joonis 6.7.6);
- III klass, milles nii põhi- kui ka rikkekaitse on tagatud kaitseväikepinge kasutamisega (joonis 6.7.7).



**Joonis 6.7.5. Pistikupesast toidetava I klassi elektritarviti ühendusskeem**

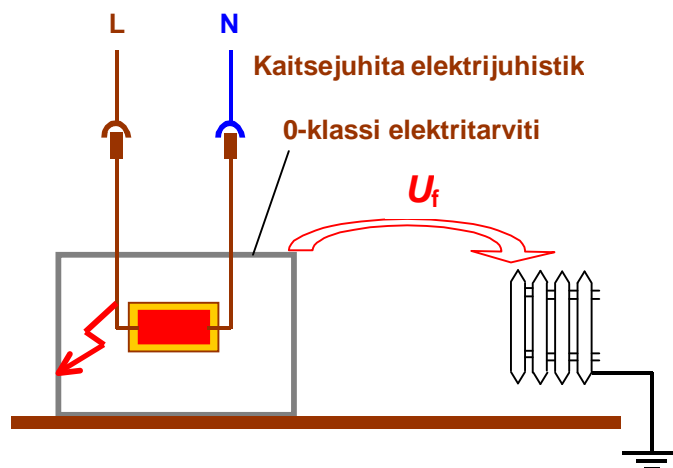


Joonis 6.7.6. Pistikupesast toidetava II klassi elektritarviti ühendusskeem



Joonis 6.7.7. Pistikupesast toidetava III klassi elektritarviti ühendusskeem

NSV Liidus kehtinud standardid ja eeskirjad lubasid kasutada ka 0-klassi elektritarviteid, milles oli, nagu I klassi tarvititel, olemas põhiisolatsioon, kuid mille metallümbrise ühendamise kaitsejuhiga ei olnud ette nähtud. Eeldati, et rikkekaitseks saab kasutada elektritarviti paigutamist *mittejuhtivasse ümbrusesse*. Vastavalt sellele ei nähtud elamute, ärihoonete, koolide ega muude taoliste ehitiste elektrijuhtides ette kaitsejuhti. Kuna neis hoonetes tegelikult mittejuhtivat ümbrust ei olnud (ümbrus loetakse juhtivaks, kui selles on vee- või kanalisatsioonitorusid, valamuid, keskkütte küttekehi ja maaga ühendatud metall- ja betoontarindeid), jäi rikkekaitse rakendamata ja iga isolatsioonirike võis tekitada eluohtliku olukorra. Joonisel 6.7.8 on kujutatud üks sellistest, rahvusvaheliste standardite järgi lubamatutest olukordadest.



**Joonis 6.7.8. Kestva kaudpuuteohtu tekkimine 0-klassi elektritarviti isolatsioonirikke korral.  $U_f$  faasipingega võrduv puutepinge**

0-klassi elektritarviteid enam müügil ei ole, kuid kui hoone elektrijuhistikus ei ole kaitsejuhti, muutub ka I klassi tarviti 0-klassi tarviti. Seetõttu on Eestis praegu käimas olemasolevate hoonete elektrijuhistike rekonstrueerimine, mis seisneb üleminekus TN-S-juhistikele (vt jaotis 3.5) ja ühtlasi ebatöökindlate alumiiniumjuhtmete asendamises vaskjuhtmetega.

NSV Liidud toodeti ka elektritarviteid, millel ei olnud isegi põhikaitset (põhiisolatsiooni), nagu näiteks lahtise küttekeermikuga elektripliite ja lahtise ehitusega hõõgkiirgureid.

Elektriohutusnõuded on rangelt sätestatud **elektriohutusseaduses** ja elektripaigaldiste ehitust ja käitu käsitlevates rahvusvahelistes standardites, millega kõik elektrikud elektriohutuskoostel põhjalikult tutvuvad.

Eestis korraldab standardimist Eesti Standardikeskus, mis on alates 1. jaanuarist 2004 Euroopa Standardimiskomitee (*Comité Européen de Normalisation, CEN*) ja Euroopa Elektrotehnilise Standardimise Komitee (*Comité Européen de Normalisation Électrotechnique, CENELEC*) täisliige. Vastavalt nende organisatsioonide sisekorrale tuleb Eestis üle võtta kõik Euroopa standardid, sealhulgas loomulikult ka need, milles sätestatakse üksikasjalised nõuded elektriohutusele. Standardeid rakendatakse kõigis uutes ja renoveeritavates elektripaigaldistes.