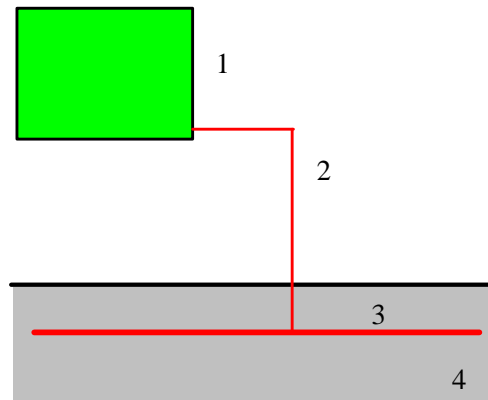


4.2 Maandamine

Maandamise all mõeldakse elektriseadme, -paigaldise või võrgu mingi osa elektrilist ühendamist maa lähedaloleva osaga (**kohaliku maaga**). Maandamiseks on lihtsaimal juhtumil vaja maaga kontaktis olevat juhtivat osa e. **maanduselektroodi**, üht või mitut juhti e. **maandusjuhti**, mis loovad juhtiva ühenduse võrgu, paigaldise või seadme mingi punkti ja maanduselektroodi vahel.



Joonis 4.9. Maandamise põhimõte

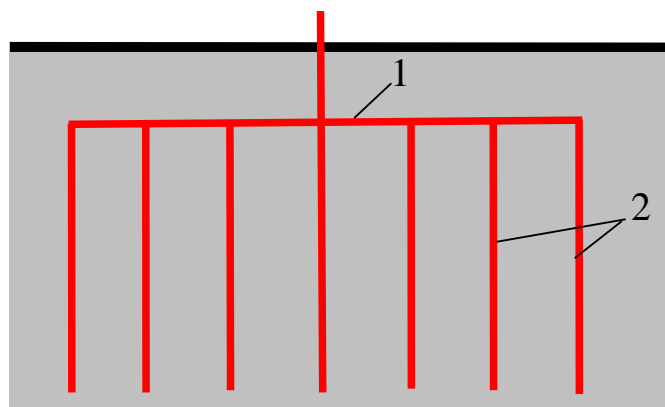
1- seadme maandatav osa, 2 –maandusjuht, 3 – maanduselektrood, 4 – kohalik maa

Maandamise põhimõtted on hästi kirjeldatud EETELi poolt välja antud teaberaamatus „Maandamine ja potentsiaaliühtlustus”, mille autor professor Endel Risthein.

Maanduselektroode võib olla üks või mitu, mis omavahel ühendatakse kokku. Eesti keeles kasutatakse nii ühest kui ka mitmest elektroodist koosneva süsteemi kohta terminit **maandur**.

Maanduselektroodid ei pruugi paikneda ainult pinnases, vaid ka nt betoonis või muus materjalis, mis pinnasega kokku puutub. Eriline koht selliste maandurite seas on **vundamendimaanduritel**, mis painevad ehitiste vundamentides.

Maanduselektroodid võivad olla **rõhtsad**, nagu joonisel 4.9 või **vertikaalsed** nagu joonisel 4.10.



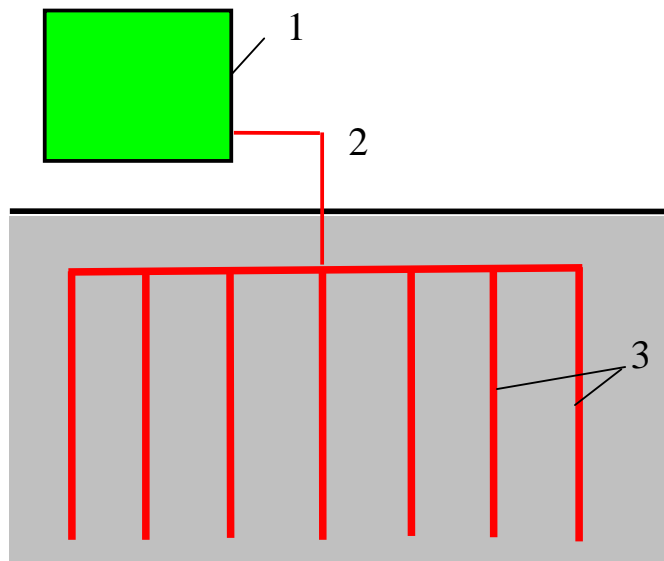
Joonis 4.10. Vertikaalsete maanduselektroodidega maandur

1- ühendusjuht, 2 - maanduselektroodid

Maanduselektroodid valmistatakse enamasti **tsingitud terasest**, harvem vasetatud või roostevabast terasest, sest nad peavad olema korrosioonikindlad.

Peale eelkirjeldatud **tehismaandurite** võidakse kasutada ka **loomulikke maandureid** - puurkaevutorusid, ehitiste pinnases paiknevaid metalltarindeid, õhuliinimastide vundamente jms. Kasutamist leiavad ka tehis- ja loomulike maandurite kombinatsioonid. Loomulike maanduritena *ei soovitata* kasutada veetorstikke, sest need võivad sisaldada isoleervahemikke ja kujutada endast sel juhul elektrilöögiohu allikat.

Maandusjuhist (või –juhtidest) ja maandurist koosnevat süsteemi nimetatakse **maanduspaigaldiseks**.



Joonis 4.11. Maanduspaigaldis

1- seadme maandatav osa, 2 –maandusjuht, 3 – maanduselektroodid

Oma **otstarbelt** jaotatakse maandusseadmed järgmiselt:

1. **Kaitsemaandus**, mis seisneb võrgu, paigaldise või seadme ühe või mitme punkti maandamises elektriohutuse eesmärgil.
2. **Talitusmaandus**, mis seisneb võrgu ühe või mitme punkti maandamises nii elektriohutuse kui ka normaaltalitluse tagamise eesmärgil.
3. **Võrgumaandus**, mis seisneb võrgu, paigaldise või seadme ühe või mitme punkti maandamises elektriohutuse eesmärgil.
4. **Töömaandus**, mis seisneb normaaltalitusel pinge all olevate, kuid pinge alt vabastatud osade maandamises selliselt, et tööd saab sooritada ilma elektrilöögiohuta.
5. **Piksekaitsemaandus**, mis kuulub põhimõtteliselt küll kaitsemaanduste hulka, kuid mida tavaliselt vaadeldakse omaette maandusliigina ja mis on vajalik välguvoolu hajutamiseks maasse.

Kui elektripaigaldise mingi pingestatud osa ja maandatud pingelt osa vahel toimub isolatsioonirike, tekib rikkekohas **maahendusvool**, mis on määratud vooluahela kogutakistusega e. **maandustakistusega**.

Maandustakistus oleneb

- maanduri enda takistusest maa suhtes ehk **valgumistakistusest**, mis sõltub ehitusviisist ja mõõtmest ning pinnase eritakistusest,
- maanduspaigaldisega ühenduses olevate ja enamasti maanduri osaks loetavate maanduritoimega kaablite ja kaabelliinide pikimaandurite olemasolust.

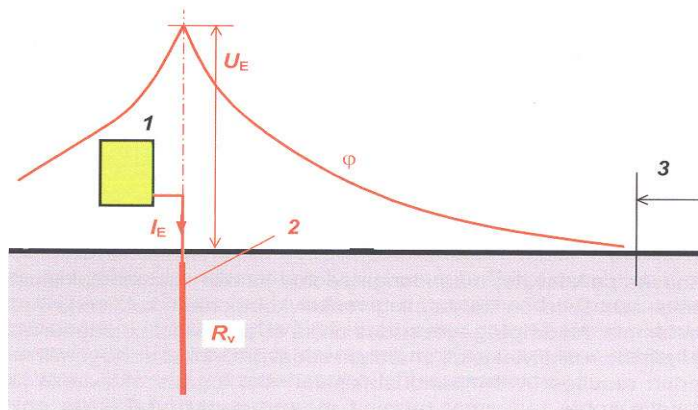
Madalpingevõrkudes võib mitme kokkuühendatud maanduri resulteerivat takistust lugeda **aktiivseks** ja seepärast kasutatakse sel juhul terminit **maandus-aktiivtakistus** ehk **maandusresistents**.

Kõrgpingevõrkudes võib takistuse reaktiivkomponent olla samas suurusjärgus aktiivkomponendiga või olla sellest isegi suurem ning seda peab arvestama. Seepärast kasutatakse terminit **maandus-näivtakistus** ehk **maandusimpedants**.

Maandusvool I_E ja maandustakistus Z_E määravad maandatava seadme maanduspinge U_E

$$U_E = I_E Z_E.$$

Märkus: indeks E tuleneb ingliskeelsest sõnast *earth, maa*.

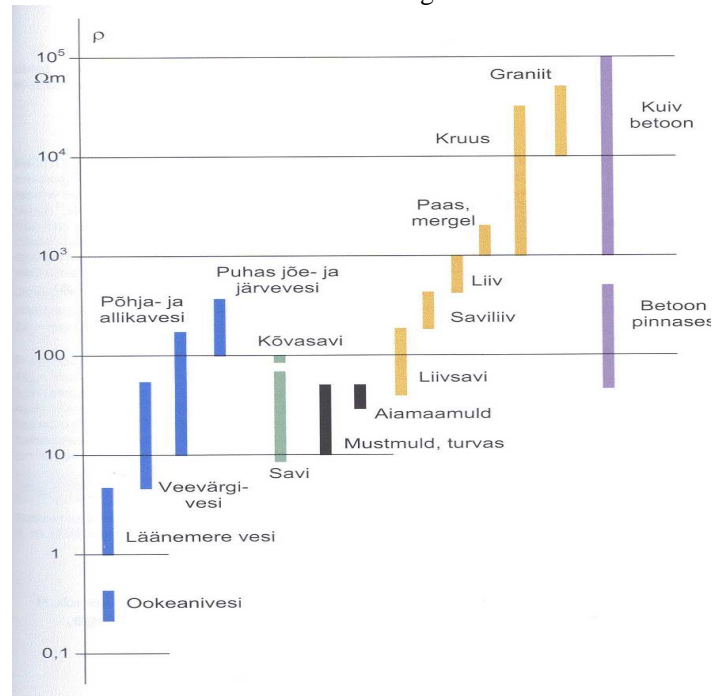


Joonis 4.12. Potentsiaalijaotus maapinnal ühest varraselektroodist koosneva maanduri korral

1- maandatud osa, 2 – maanduselektrood, 3 – nullpotentsiaaliala, I_E - maandusvool, U_E – maanduspinge, R_v - valgumistakistus, ϕ – maapinna potentsiaal

Voolu valgumisel maasse tekib maapinnal elektriline potentsiaal, mis maandurist kaugenemisel (voolu valgumisalal) hüperpoolitaoliselt väheneb. Maa-ala, millel potentsiaali saab lugeda nulliks, nimetatakse **nullpotentsiaalialaks** (joonis 4.12).

Valgumisala ulatus ja potentsiaalijaotuse iseloom olenevad maanduri ehitusest, paigaldamissugavusest, pinnase eritakistusest ja maanduspinge väärtusest. Ligikaudselt võib öelda, et tavaliste maaihendusvoolude korral ulatub valgumisala maanduri äärmisest elektroodist umbes 20 m kaugusele.



Joonis 4.13. Pinnase, vee ja betooni eritakistuse väärtusi

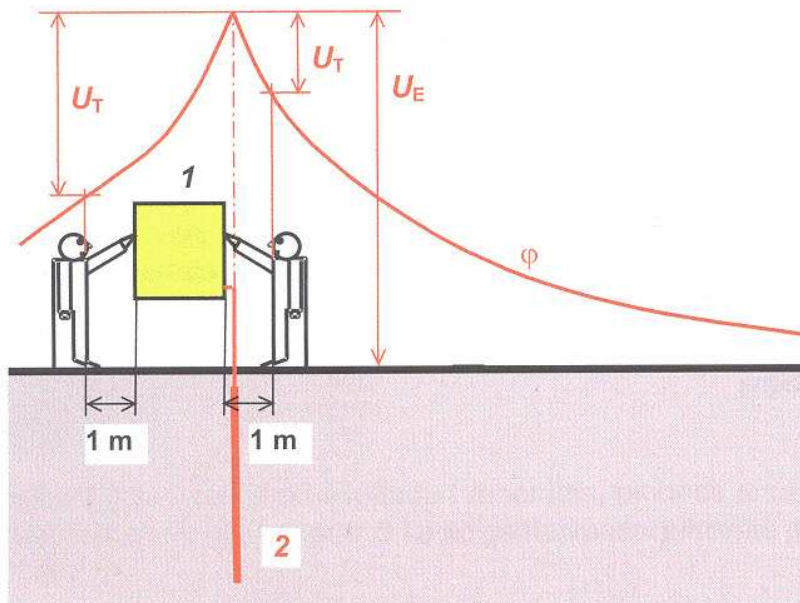
Puute- ja sammupinge

Kui elektripaigaldise maandatud osa satub nt. isolatsioonirikke tõttu pinge alla, tekib selle osa ja maapinna eri punktide vahel vastavalt maapinna potentsiaali φ jaotusele pinge

$$U = U_E - \varphi .$$

Pinget, mille alla võib sattuda inimene, kes asub maandatud seadmest kaugusel, milleslt ta saab seda seadet puutada, nimetatakse **puutepingeks**.

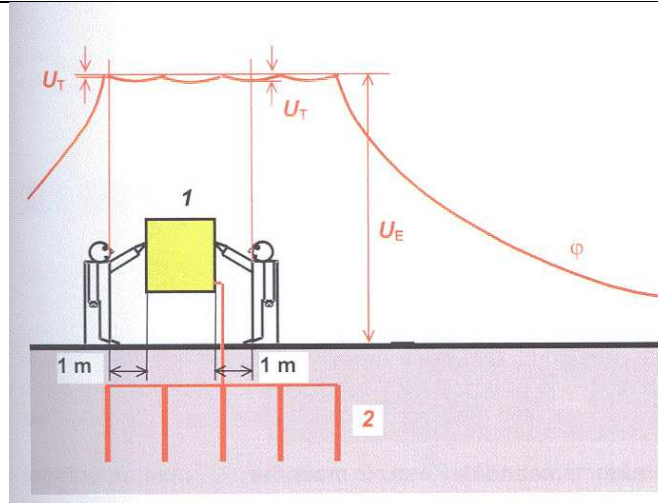
Arvutuslikuks rõhtkauguseks võetakse puutepinge määramisel 1 m ning eeldatakse, et vool läbib inimese keha käest jalgadesse.



Joonis 4.14 Puutepinge ühest maanduselektroodist koosneva maanduri korral

- 1- maandatud osa, 2 –maanduselektrood, U_E - maanduspinge,
2- U_T – puutepinge, φ – maapinna potentsiaal

Ühelektroodilise maanduri korral võib puutepinge olla suhteliselt kõrge. Puutepinget saab vähendada **mitmest elektroodist koosneva maanduri kasutamisega**, mis tasandab maapinna potentsiaali maanduri kohal. Samal põhimõttel võidakse kasutada spetsiaalseid rõhtsaid potentsiaalitasanduselektroode.



Joonis 4.15 Puutepinge mitmest maanduselektroodist koosneva maanduri korral

- 1- maandatud osa, 2 – maanduselektrood, U_E - maanduspinge,
2- U_T – puutepinge, φ – maapinna potentsiaal

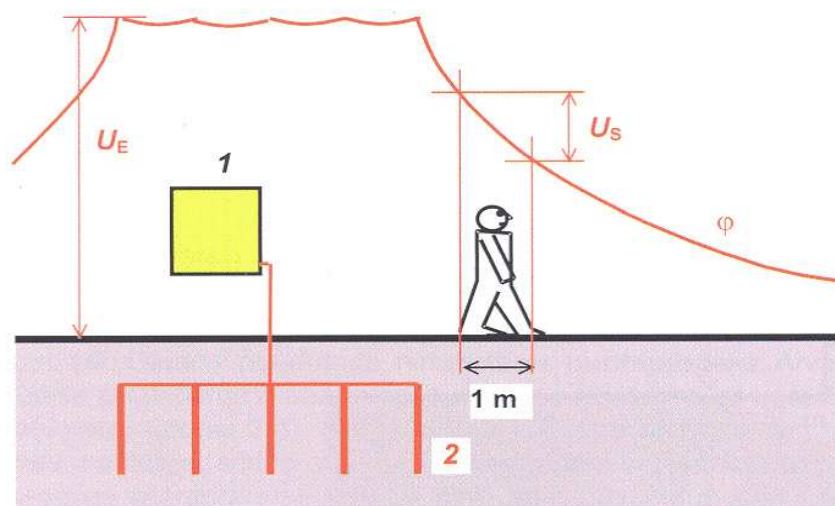
Puutepinge määratlemisel eristatakse

arvutuslikku puutepinget (ehk puute-eelset pinget) U_{ST} , mis tekib maandatud osa ja maapinna arvutusliku punkti vahel, kui inimene nendega kontaktis ei ole, ja

tegelikku puutepinget U_T , mis rakendub inimesele puutumise ajal. Viimane on mõnevõrra väiksem arvutuslikust puutepingest ja sõltub inimese elektrilisest takistusest.

Arvutusliku puutepinge enamalt kestvalt lubatavat väärtust nimetatakse **lubatavaks puutepingeks** (tähis U_{Tp} või U_L). Madalpingelistes vahelduvvoolupaigaldiste on enamasti $U_{Tp} = 50$ V.

Sammupingeks U_S loetakse maanduspinge osa, mille alla võib sattuda inimene 1 m pikkuse sammu korral, eeldades, et vool läbib inimese keha jalast jalga.



Joonis 4.16. Sammupinge teke.

- 1- maandatud osa, 2 – maanduselektrood, U_E - maanduspinge,
2- U_S – sammupinge, φ – maapinna potentsiaal

4.3 Potentsiaaliühtlustus

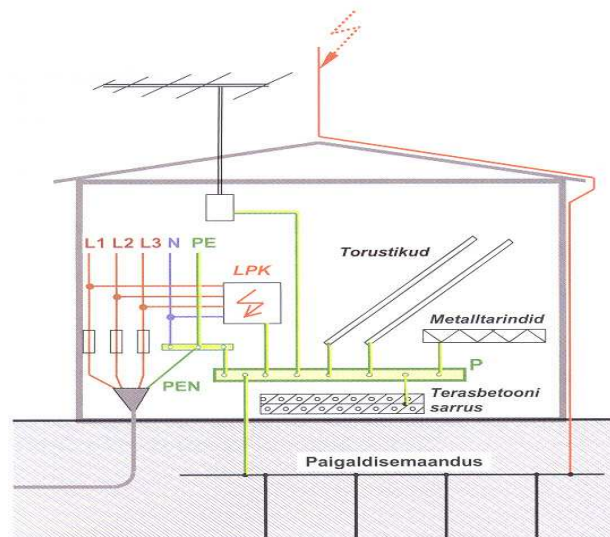
Potentsiaaliühtlustuse olemus ja liigid

Potentsiaaliühtlustus seisneb paigaldise normaaltalitusel pingetute elektrijuhtivate osade omavahelises ühendamises sellekohaste juhtide e. **potentsiaaliühtlustus-juhtide** abil. Sellise ühendamise eesmärk on tagada, et kui üks nendest osadest satub nt. isolatsioonirikke tõttu pinge alla, siis ei teki omavahel ühendatud elektrijuhtivate osade vahel ohtlikku puutepinget. Potentsiaaliühtlustussüsteemi parema töökindluse tagamiseks nähakse ette iga ühendatava osa jaoks ette eraldi juht, mis ühendatakse teiste juhtidega kokku potentsiaaliühtlustuslatil või -klemmil.

Vastavalt otstarbele eritatakse

- **kaitse-potentsiaaliühtlustussüsteemi**, mis oluliselt suurendab paigaldise või selle osa elektriohutust,
- **talitus- potentsiaaliühtlustussüsteemi**, mida kasutatakse muul eesmärgil kui elektriohutuse tagamiseks (nt elektromagnetiliste häirete vähendamiseks),
- **ühtset potentsiaaliühtlustussüsteemi**, mis peab tagama nii elektriohutuse kui ka kaitse elektromagnetiliste jm häirete eest.

Potentsiaaliühtlustussüsteemi tähtsaim osa on **peapotentsiaaliühtlustus**, mis nähakse ette ehitise elektrisisendi juures ja ühendatakse paigaldusmaandusega.



Joonis 4.17. Peapotentsiaaliühtlustus ehitise elektrisisendis TN-C –toitevõrgu ja TN-S- hoonejuhistiku korral.

L1, L2, L3 –siseneva kaabelliini faasijuhid, PEN – siseneva liini PEN-juht,
PE – kaisejuht, N – neutraaljuht, LPK – liigpingepiirikute komplekt,
P – peapotentsiaaliühtlustuslatt (peamaanduslatt)

Põhinõuded

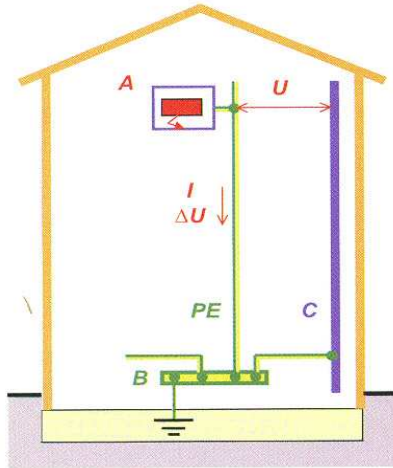
Elektriohutuse rühmastandard näeb ette, et igas ehitises peavad peapotentsiaaliühtlustusega olema ühendatud järgmise juhtivad osad:

- peakaitsejuht,
- peamaandusjuht või peamaandusklemm,
- ehitisesised gaasi-, vee- jm torustikud,
- võimaluse korral metalltarindid, keskküttesüsteemid, terasbetoonitarindite sarrus,
- kõigi sidekaablite metallmantlid.

Sama **standard nõuab**, et ehitisse sisenevad voolujuhtivad osad tuleb ühendada potentsiaaliühtlustusega ehitises **sisenemiskohale nii lähedal kui võimalik**. See nõue on tingitud sellest, et pikemate vahemaade korral peapotentsiaaliühtlustuslati ja selle külge kaitsejuhiga ühendatud pingeltide osade vahel võib rikke korral tekkida kaitsejuhi ja kõrvaliste juhtivate osade vahel lubamatult suur pinge, mis teatud oludes võib osutada

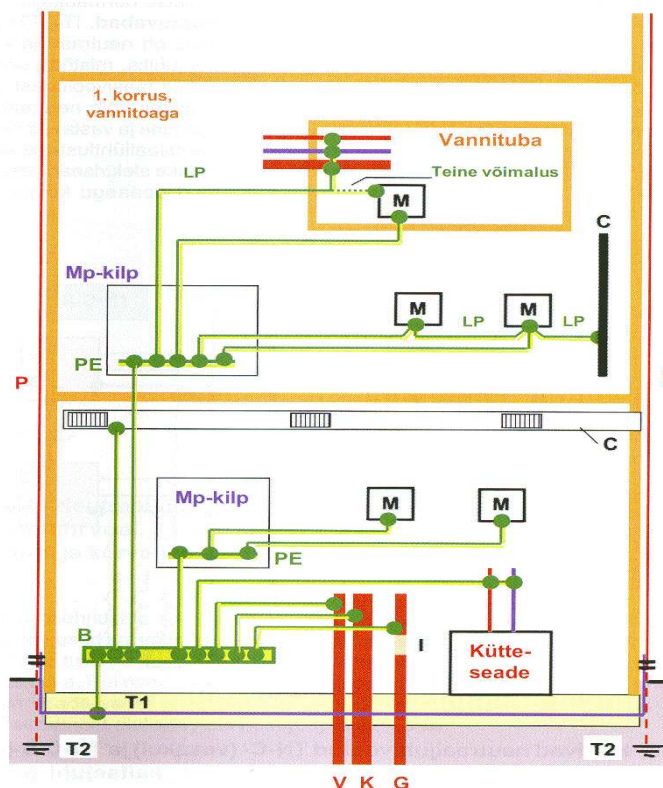
ohtlikuks (joonis 4.18). Sellise ohu vältimiseks võidakse kasutada **lisa-potentsiaaliühtlustust**, mis võib olla maandatud või maandamata.

Joonisel 4.19 on kujutatud ehitise madalpingepaigaldise maandus- ja potentsiaaliühtlustussüsteemi ehituspõhimõte, kui ehitises on kasutatud nii pea- kui ka lisapotentsiaaliühtlustust.



Joonis 4.18. Pinge teke kaitsejuhi ja kõrvalise juhtiva osa vahel, mis on ehitise elektrisendist suhteliselt kaugel.

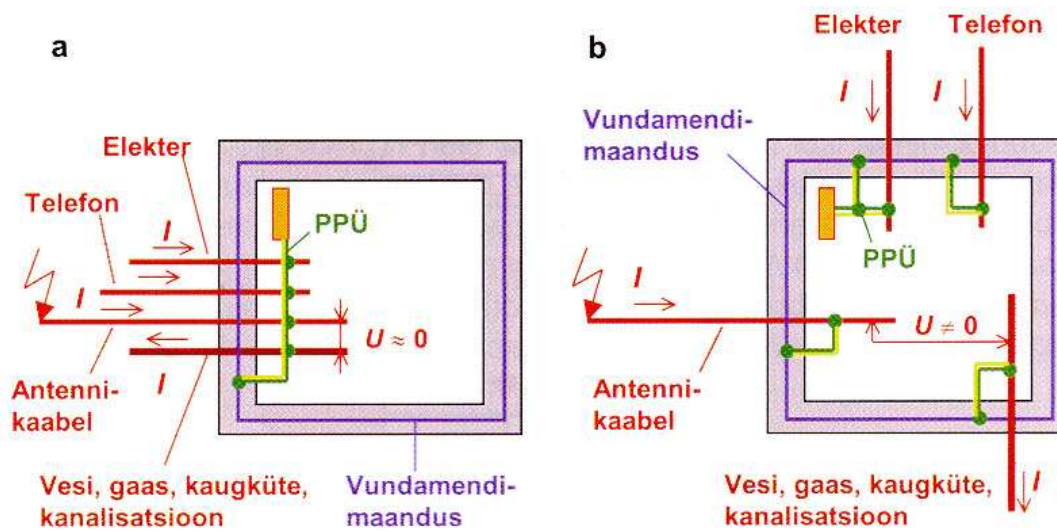
A – elektritarviti, B – peapotentsiaaliühtlustuslatt, C – kõrvaline juhtiv osa (nt metalltoru), PE – kaitsejuht, I – rikke korral kaitsejuhis tekkiv vool, ΔU – pingelang kaitsejuhis, U – pinge kaitsejuhi ja kõrvalise juhtiva osa vahel



Joonis 4.19. Ehitise madalpingepaigaldise maandus-, potentsiaaliühtlustus- ja kaitsejuhisüsteemi näide

B - peapotentsiaaliühtlustuslatt, C - kõrvaline juhtiv osa, G - sisenev gaasitoru, I - isoleervahemik, K - kanalisatsioonitoru, LP - lisapotentsiaaliühtlustus, M - pingevaltis juhtiv osa, Mp - madalpinge, P - piksekaitse allaviik, PE - kaitsejuhilatt, T1 - vundamendimaandur, T2 – piksekaitse-lisamaandur, V - sisenev veetoru

Et potentsiaaliühtlustus toimiks võimalikult tõhusalt, peavad potentsiaaliühtlustusjuhid olema **võimalikult lühikesed**. See tähendab ka seda, et elektri- ja sideliinid, torustikud jms tulevad sisestada ehitisse üksteisele nii lähedal kui võimalik, mis võimaldab vältida ebasoovitavaid, häiretundlikke seadmeid mõjutavaid pingeid.



Joonis 4.20. Häirepingete vältimine torustike, metallkatetega kaablite jms sisestamise teel ehitisse ühessamas kohas (a) ja häirepinge teke sisestamiskohtade paiknemisel üksteisest eemal (b).
I – indutseeritud vool, *PPÜ* – peapotentsiaaliühtlustussüsteem, *U* – pinge eri metallosade vahel

Ehitise potentsiaaliühtlustus- ja maandussüsteemi kujunduse näide elektrilöögikaitse, elektromagnetilise ühilduvuse ja piksekaitse seisukohalt on toodud joonisel 4.21.

Joonis 4.21. Ehitise potentsiaaliühtlustus- ja maandussüsteemi kujundus vastavalt elektripaigaldiste ehituse standardi, piksekaitsestandardi ja elektromagnetilise ühilduvuse standardi nõuetele.
 1 – telefon, 2 – ehitise elektroonikaseadmed, 3 – kohalik potentsiaaliühtlustus,
 PE – kaitsejuht, PPÜ – peapotentsiaaliühtlustuslatt,
 UPS – katkestusvaba toitesead

