

# KEEVITUSTÖÖD

ÕPPEMATERJAL KUTSEKOOULIDELE

ANDRES LAANSOO TOOMAS PIHL



# KEEVITUSTÖÖD

## Õppematerjal kutsekoolidele

**Andres Laansoo**  
**Toomas Pihl**

Tallinn 2014

Käesolev õppematerjal on valminud „Riikliku struktuurivahendite kasutamise strateegia 2007-2013” ja sellest tuleneva rakenduskava „Inimressursi arendamine” alusel prioriteetse suuna „Elukestev õpe” meetme „Kutseõppe sisuline kaasajastamine ning kvaliteedi kindlustamine” programmi „Kutsehariduse sisuline arendamine 2008-2013” raames.

Õppematerjalide koostamisel on lähtutud valdkonna kutsestandardite nõuetest ja tööstuse vajadustest. Õppematerjalid on vastavuses riiklike õppekavadega ja abistavad kutseõppeasutuste õppureid edasiseks tööks vajalike teadmiste omandamisel. Kompetentne töötaja omab eeldusi tööturul tugevama positsiooni saavutamiseks. Väga vajalik on, et iga töötaja töökohal oskaks parimal võimalikul viisil kasutada vastavaid seadmeid ja tehnoloogiaid ning tunneks kulusäästliku ja tulemusliku töö põhimõtteid.

Mehaanika ja metallitöödega seotud sari sisaldab alljärgnevat õppematerjale kutsekoolidele:

1. Tootmise korraldamine;
2. Mehaanilise töötlemise tehnoloogiad ja kasutatavad seadmed;
3. Metalltoodete valmistamine, koostamine ja viimistlemine;
4. Keevitustööd;
5. Lehtmetalli töötlemistehnoloogiad;
6. Mehhatroonika komponendid;
7. Robotitehnika kutsekoolidele.

Kogu sarja ettevalmistuse ja eestvedamise juures on olnud: Jüri Riives, Tõnu Lelumees, Jaak Lavin, Triin Ploompuu, Lii Topaasia, Helina Seljamäe, Leelo Kingisepp ja Piret Kärtner.

Toimetaja: Sirli Tarve

Kujundaja: Helina Seljamäe

Trükieelne korrektuur: Nele Otto

Trükk: AS Atlex

ISBN 978-9949-547-89-0 (trükk)

ISBN 978-9949-547-83-8 (pdf)

## Autoritest

	<p><b>Andres Laansoo</b> on Tallinna Tehnikaülikooli, Materjalitehnika instituudi lektor. Kaitsnud tehnikakandidaadi kraadi (PhD) 1977. a Moskva Terase ja Sulamite Instituudis magnetkomposiitmaterjalide alal.</p> <p>Uurimisalad: komposiitmaterjalide difusioonkeevitus ja jootmine, keevituse kvaliteedisüsteemid. Teaduspreemiad ja tunnustused: Euroinsener (2001), Eesti volitatud mehaanikainsener (2004).</p> <p>Eesti Mehaanikainseneride Liidu ja Eesti Keevitusühingu liige.</p> <p>Avaldanud kutsekoolide õpiku “Keevitamine. MIG/MAG keevitus” ja õppematerjali “Keevitustehnoloogia”.</p>
	<p><b>Toomas Pihl</b> on Tallinna Tehnikakõrgkooli, Mehaanikateaduskonna professor. Kaitstud teaduskraadid: tehnikamagister 1993, tehnikateaduste doktor 2003. Töötanud TTÜ Tööstuse automatiseerimise kateedris, Pulbermetallurgia laboratooriumis, Materjalitehnika- ja Mehhatroonika Instituudis aastatel 1974 kuni 2004.</p> <p>Teadustöö põhisuunad: Pinded ja pindamistehnoloogia, keevitustehnoloogia ja seadmed. Eesti Inseneride Liidu ja Eesti Keevitusühingu liige.</p>



## Sisukord

Sissejuhatus .....	6
1. Keevitamise olemus, eesmärgid ja kasutamine tööstuses.....	8
1.1 Keevitamise olemus ja põhimõisted .....	8
1.2 Kaarkeevituse olemus ja vooluallikad.....	12
1.3 Keevituse kasutamine tööstuses .....	17
2. Keevisliidete olemus .....	20
2.1 Keevisliidete ja keevisõmbluste liigitus .....	20
2.2 Keevisliidete tsoonid ja struktuur .....	23
2.3 Erinevate metallide keevitatavus .....	25
3. Keevitusdeformatsioonid .....	31
4. Tööstuslikud keevitusprotsessid.....	34
4.1 Käsikaarkeevitus.....	34
4.1.1 Käsikaarkeevituse olemus.....	34
4.1.2 Elektroodimetalli siirdeprotsess ja siirdemehhanismide liigitus.....	38
4.1.3 Käsikaarkeevituse vooluallikad .....	39
4.1.4 Keevituselektroodid .....	42
4.1.5 Keevituselektroodide liigitus ja tähistus .....	46
4.1.6 Keevitustehnika.....	50
4.2 MIG/MAG-keevitus .....	52
4.2.1 MIG/MAG-keevituse olemus ja liigitus .....	52
4.2.2 Keevituse poolautomaadi ehitus .....	55
4.2.3 Keevituse lisamaterjalid.....	62
4.2.4 Vooluallika ja keevituskaare tunnusjooned .....	66
4.2.5 Keevitusparameetrite ja keevitustehnika mõju keevisõmblusele .....	68
4.2.6 Poolautomaadi seadistamine ja reguleerimine.....	74
4.2.7 Tüüpilised keevitusdefektid ja seadme töö häired .....	83
4.3 TIG -keevitus.....	90
4.3.1 TIG-keevituse olemus.....	90
4.3.2 TIG-seadme ehitus .....	92
4.3.3 TIG-keevituspõleti ehitus ja komponendid.....	93

4.3.4 Elektroodid TIG-keevitusel .....	95
4.3.5 TIG-keevituse lisametallid .....	100
4.3.6 Kaitsegaasid TIG-keevitusel .....	102
4.3.7 TIG-keevituse sooritustehnika .....	104
4.4 Gaaskeevitus ja gaasjootmine .....	111
4.4.1 Gaaskeevituse olemus .....	111
4.4.2 Gaaskeevituse gaasid .....	111
4.4.3 Gaaskeevitusleek .....	115
4.4.4 Keevituspõleti .....	119
4.4.5 Gaaskeevituse sooritustehnika .....	124
4.4.6 Pealekeevitustehnoloogia .....	126
4.4.7 Gaasjootmine .....	130
4.5 Räbustikaarkeevitus .....	138
4.6 Punktkontaktkeevitus .....	140
4.7 Vastakkaarkeevitus .....	142
4.8 Otshõõrdkeevitus .....	144
5. Keevistoote joonis ja kvaliteedinõuded .....	146
6. Keevitustootmise alused .....	155
6.1 Detailide koostamine, traageldamine ja keevitusjärjestus .....	155
6.2 Keevitusprotseduur ja keevitaja kvalifikatsioon .....	169
6.3 Ettekuumus ja järelkuumus keevitustöödel .....	175
6.4 Keevisliidete kontroll, keevitusdefektid ja nende vältimine .....	181
7. Keevitustööde väikemehhaniseerimine ja robotiseerimine .....	190
8. Keevitusprotsessi korraldamine ja tootlikkus .....	200
8.1 Ohutusnõuded keevitustöödel .....	200
8.2 Keevitaja töökoht .....	204
8.3 Tulemuslikkuse hindamine keevitustöödel .....	206
9. Näidisülesanded ( <i>case study</i> ) .....	211
Näidisülesanded .....	213
Viidatud allikad .....	218

## Sissejuhatus

Keevitamine kui levinuim materjalide liitmismeetod on laialdaselt kasutusel nii masinatööstus-, energeetika- kui ka ehitusettevõtetes. Tööstuslik metallkonstruktsioonide ja masinaehituslike keevistoodete valmistamine on tuntud kui keevitustootmine. Soomes loetakse näiteks keevitustootmist strateegiliseks tootmisharuks elektroonikatööstuse kõrval.

Teraste liitmisel on kõige levinum kaarkeevitus, kuid viimastel aastatel on kasvanud huvi teiste keevitusprotsesside vastu. Uute vooluallikate ja arvutustehnika kasutuselevõttuga on täiustatud poolautomaatkeevituse ehk MAG-keevituse protsesse, mis avavad uusi tehnoloogilisi võimalusi. Seoses kasutatavate materjalide nomenklatuuri laienemisega, näiteks kõrgtugevate ja ultrapeenteeraste ning alumiiniumisulamite kasutuselevõttuga tuleb välja töötada nende keevitustehnoloogiad, järgida rangemalt keevitusprotseduure ning kasutada uusi keevitusprotsesse, mis nõuavad keevitajatelt laiemaid alustadmisi. Keevitustootmise kvaliteet ja tootlikkus sõltub suurel määral keevitaja kutseoskustest, sealhulgas on suur roll teoreetilistel teadmistel protsesside olemusest, seadmetest, kvaliteedi tagamisest, metalliõpetusest, elektrotehnika alustest.

Keevitajate väljaõppel on vaja lisaks keevituseadmete seadistamisele ja reguleerimisele ning sooritustehnikale osata lugeda tehnilisi jooniseid, hinnata keevisliidete defekte ja teada nende kõrvaldamise viise. Keevitaja töötingimused peavad olema ohutud.

Antud õppematerjal kutsekoolidele vastab kutsestandardile "Keevitaja" ja järgmistele õppevaldkondade õppekavadele: metallitöö õppekava, eriala keevitaja, lukksepp-metallkonstruktsioonide koostaja, õppevaldkond autod, eriala autokeretehnik. Õppematerjali saab kasutada ka teiste metallitööstuse erialade oskustöölise ja keevitajate täiendkoolituseks, aga samuti iseseisvaks tööks keevitaja kutseeksami sooritamiseks. Õpetajad saavad seda kasutada loengutes ja praktiliste ülesannete lahendamisel. Selleks on iga osa lõpus kordamisküsimused ja raamatu viimases peatükis tuuakse näidisülesanded (*case-study*) koos võimalike lahendatavate küsimuste loeteluga.

Käsikirja koostasid Toomas Pihl (käsikaarkeevitus (alapunkt 4.2), TIG-keevitus (4.3) ja gaaskeevitus (4.4). Ülejäänud õppematerjali osad on koostanud Andres Laansoo.

Õppematerjal on valminud INNOVE projekti "Riiklike õppekavade rakendumist toetavate õppematerjalide koostamine" raames.

# 1. Keevitamise olemus, eesmärgid ja kasutamine tööstuses

## 1.1 Keevitamise olemus ja põhimõisted

**Keevitamine** on kahe või enama detaili liitmine ja **püsiliite** ehk **kinnisliite** moodustamine kuumutamise või surve abil, kusjuures tekib tugev side liidetavate metallide aatomite vahel koos ühtse kristallvõre moodustumisega. Aatomitevahelised sidemed tekivad ainult sellisel juhul, kui liidetavate detailide aatomid saavad jurde täiendavat lisaenergiat, mida nimetatakse aktiveerimisenergiaks. Aktiveerimisenergia järgi saab eristada järgmisi keevitusmeetodeid:

- a) termomeetodid, mille puhul kasutatakse kaarlahenduse, fokuseeritud energiakiire, gaasileegi jm soojusenergiat;
- b) mehaanilised meetodid, mille puhul liitepindu mõjutatakse mehaaniliselt (ultraheli-, plahvatus-, survekeevitus);
- c) termomehaanilised meetodid, kus kasutatakse nii mehaanilist kui ka soojusenergiat (kontaktkeevitus, difusioonkeevitus).

Keevitamise eesmärk on liidetavate detailidega e põhimetalliga samaväärsed keevisliited saamine, mille mehaanilised omadused-tõmbetugevus  $R_m$ , katkevenivus  $A_5$  ja purustustöö löökpaindel ei jääks alla põhimetalli omale. Kulumiskindlate teraste korral on veel nõudeks pinnakihi nõutava kõvaduse, kõrgleegerterastel, nt roostevabadel terastel, korrosioonikindluse tagamine.

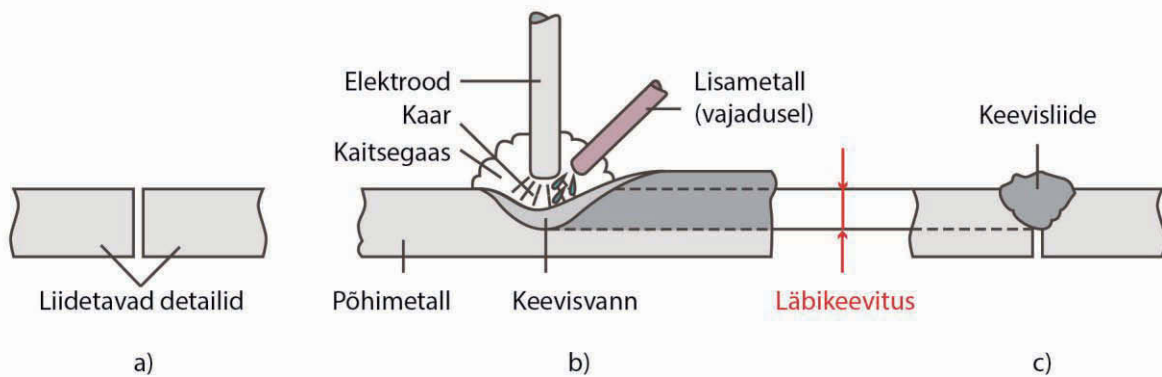
Metallide liitmisel kasutatavaid keevitusprotsesse saab liigitada kahte suurde rühma: a) sulakeevitus; b) tardfaaskeevitus.

**Tardfaaskeevitusel** ei sulatata liidetavate detailide servasid ja materjalide liitmine toimub allpool nende sulamistemperatuuri. Liitepindadel asuvad lisandid eemaldatakse kas mehaaniliselt või keemiliselt või selle järel metalli plastse deformeerimise käigus (survekeevitus) ning moodustub keevisõmblus. Tardfaaskeevituseks on survekeevitus, hõõrdkeevitus, plahvatuskeevitus ja ultrahelikeevitus.

**Sulakeevitusel** liidetavate detailide servad sulatatakse kokku, vajadusel täidetakse servavahemik keevituselektroodi sulatamisel saadud lisametalliga ning sula keevisvanni moodustumisega nende pindade vahel. Keevitamise käigus tekkinud oksiidid, räbu, gaasid eemaldatakse sageli



keevismetallile põhimetalliga samaseid mehaanilisi omadusi, tuleb sulakeevitusel valida lisametallina sellised keevituselektroodid, keevitustraadid või vardad, mille mehaanilised omadused on võrdsed või mõnevõrra kõrgemad kui keevitaval põhimetallil. Teraeste keevitamisel on enimlevinud sulakeevitus. Sulakeevitust kaarkeevituse näitel kirjeldab joonis 1.1.



**Joonis 1.1. Kaarkeevitus etapid: a) enne keevitamist; b) keevitamise ajal; c) pärast keevitamist**

Faasimata servadega põhimetallist detailid koostatakse ja nende vahele jäetakse sobiv õhupilu. Elektroodi ja liidetavate detailide vahele tekitatakse kaarlahendus ehk keevituskaar. Kaarevahemikku kaitstakse sinna juhitava kaitsegaasi abil. Antud juhul kasutatakse sulamatut elektroodi, nt volframist või grafiidist ja servavahemiku täitmiseks sulatatakse sinna lisametalli varrast. Sulanud põhimetallist ja lisametallist moodustub keevisvann, mis tardudes moodustab keevisõmbluse. Antud juhul ei sulatata materjali terve paksuse ulatuses läbi, mistõttu saavutatud läbikeevitus ei ole detailide paksuse suurune. See on erandlik, kuna reeglina saavutatakse täielik läbikeevitus, mille juures keevitamise vastaspoolel tekib väike tugevdus ehk keevisvallik. Sulakeevitusel kasutatakse järgmisi **põhimõisteid**:

**Keevisõmblus** – keevitamise tulemus.

**Keevisliide** – kahest või enamast osast keevisõmblusega valmistatud kinnisliide, kusjuures ühendus tekib liidetavate pindade sulatatud servade või liidetavate pindade kontaktpinnas. Põhineb tavaliselt kindlat tüüpi keevisõmblusel.

**Keevitaja** – isik, kes hoiab ja käsitseb elektroodihoidikut, keevituspüstolit või gaasipõletit.

**Keevitusoperaator** – isik, kes teeb täismehhaniseeritud ja automaatkeevitust. Praktikas keevitustraktori, keevitusrobotiga keevitaja, punktkeevituse masinal töötav keevitaja.

**Ühekihiline keevisõmblus** – kui keevisõmblus tehakse ühe kihina, kuid mis võib koosneda mitmest pealekeevitatud läbimist e vallikust.

**Mitmekihiline keevisõmblus** – keevisõmblus koosneb kahest või enamast kihist.

**Ühepoolne keevitamine** – toodet keevitatakse ühelt poolt.

**Kahepoolne keevitamine** – toodet keevitatakse mõlemalt poolt.

**Traagelõmbluste keevitamine, traageldamine e sildamine** – liidetavate detailide fikseerimine lühikeste õmblustega.

**Käsikeevitus, käsitsikeevitus** – inimese käe abil tehtud keevitus.

**Poolautomaatkeevitus** – käsikeevitus, kus lisametalli etteandmine on mehhaniseeritud.

**Täielikult mehhaniseeritud keevitus e masinkeevitus** – keevitus, kus kõik liikumised keevitusprotsessis teevad seadmed, kuid keevitusoperaatori kontrolli ja vaatluse all.

**Automaatkeevitus** – keevitamist teevad seadmed, kusjuures keevitusparameetreid ei saa keevitamise ajal käsitsi juhtimisega muuta.

**Robotkeevitus** – erilise robotiga tehtud automaatkeevitus.

**Alustus/lõpetusplaat** – metallplaadid, mis on asetatud õmbluse algusesse ja lõppu, mille peal süüdatakse ja kustutatakse kaar.

**Juuretugi** – sula keevismetalli toetamiseks keevisõmbluse vastaspoolele asetatud materjal. Kinnituv juuretugi või alusplaat keevitatakse detailide külge. Mittekinnituv juuretugi kas keraamilise rennina või soonega vaskplaadiga kinnitatakse ajutiselt detailide alla ja pärast keevitamist eemaldatakse. Kasutatakse räubustikeevitusel ja täidistraadiga MAG-keevitusel.

**Keevisõmbluse juur** – keevisõmbluse pealispinnast kõige kaugemal asetsev ala.

**Juureläbim** – mitmekihilise keevisõmbluse esimene keevitatud läbim.

**Täiteläbim** – mitmekihilise keevisõmbluse läbim(id), mis on keevitatud juureläbimi(te)le enne pinnaläbimi(te) keevitamist.

**Põhimetall, põhimaterjal** – liidetavate detailide materjal.

**Keevisvann** ó keevitamise ajal sulas olekus olev põhi- ja lisametall, millest tardumisel moodustub õmblus.

**Servavahemik, servade ettevalmistus** – keevitamiseks ettevalmistatud detailide vaheline ruum.

**Õhupilu laius, pilu suurus** – õmbluse juurepindade või servade vahekaugus. Keevisõmbluse juure läbikeevituse tagamiseks peab pilu olema piisava suurusega.

**Keevisläbim** – keevismetall, mis kantakse servavahemiku peale ühekordse elektroodi või põleti liikumisega. Üks või mitu kõrvuti asetsevat läbimit moodustavad keevisõmbluse.

**Keevitusjärjestus** – keevitusläbimite keevitamise järjekord.

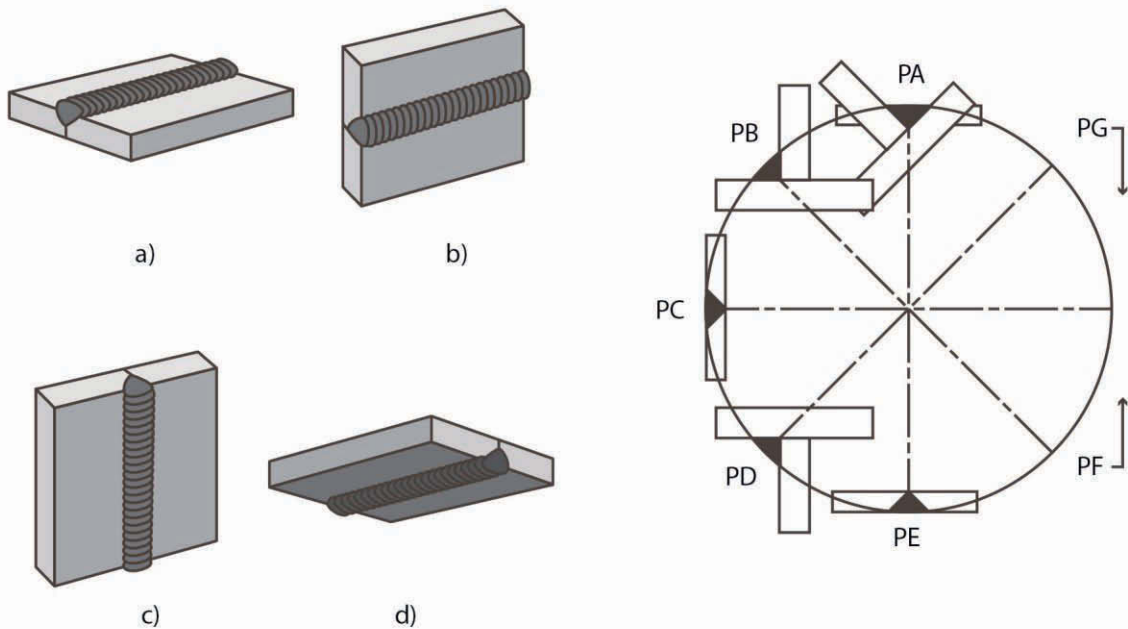
**Keevituse** kui liitmismeetodi **eelisteks** võrreldes teiste liitmistehnoloogiatega, nt jootmisega, poltliidetega või neetliidetega on: odavaim liitmismeetod püsiliidete valmistamiseks, liidete kõrged mehaanilised omadused, saab teha liiteid nii töökoja- kui ka välitingimustes, toodete massi vähenemine, kõrge tootlikkus, sobivus enamikule tehnikas kasutatavatele materjalidele, sh ka komposiitidele ja plastidele, võib kasutada erinevates keskkondades (õhus, vaakumis, vee all), võimalus protsesse automatiseerida, nt keevitusroboteid kasutades.

Keevituse kasutamist **piiravateks teguriteks on**: enamus operatsioone tehakse käsitsi ja seetõttu kaasnevad küllaltki suured tööjõukulud, paljude keevitusprotsesside kvaliteet sõltub keevitaja kutseoskustest, ohtlik keevitajale, kuna kasutatakse suurt energiat või kõrgepingelist elektrivoolu, võivad tekkida protsessi käigus keevitusdefektid, sageli vajalik pärast keevitamist liidete mittepurustav kontroll, keskkonda eraldub mürgiseid ühendeid.

### **Keevitusasend**

Keevisõmblus võib olla väga erinevates ruumiasendites, mida nimetatakse **keevitusasenditeks** ja mis on näidatud osaliselt joonisel 1.2. Rahvusvaheliste standardite järgi tähistatakse keevitusasendeid kahe tähe kombinatsiooniga. Keevitusasendi tähis algab P tähega ja allasendis keevisõmblust tähistatakse tähe kombinatsiooniga PA ja järgmisi asendeid kellaosuti suunas

minnes järgmiselt: PB, PC, PD ja PF . Erandi moodustavad torude keevisõmbuste ja toru-plaadi nurkõmbused, mille keevitusasendite tähistus on järgmine: horisontaalse toru põkkõmbus ja toru-plaadi nurkõmbus, keevitatud alt üles kahe poolringina on tähistatud tähekombinatsiooniga PH. Samade keevisõmbuste keevitamist ülalt-alla tähistatakse tähekombinatsiooniga PJ. Keevisõmbuse asend võib teatud juhtudel piirata mõne keevitusprotsessi kasutamist, nõuda keevitusparameetrite või keevituse sooritustehnika muutmist. Tootlikkuse ja keevisliidete kvaliteedi seisukohalt tuleb alati **eelistada keevitamist allasendis**.



**Joonis 1.2. Keevisõmbuse asendid a) allasend-PA, b) rõhtasend e horisontaalasend PC, c) püstasend e vertikaalasend alt üles PF, ülalt –alla-PG, d) laeasend-PE**

## 1.2 Kaarkeevituse olemus ja vooluallikad

Tööstuses on enimlevinud kaarkeevitus. Kaarkeevitus on sulakeevituse protsesside üldnimetus, mille puhul keevitatavad materjalid sulatatakse elektrikaare e keevituskaare abil. Kaarkeevitusel kasutatakse energiaallikana elektrikaare ehk elektrilise kaarlahenduse poolt eralduvat soojusenergiat.

**Keevituskaar** on kaarlahendus, mis tekib keevitamisel elektroodi otsa ja detaili vahel metalliaurude ning kaitsegaaside, elektroodikatte või räbusti koostisse kuuluvate ainete aurude

ioniseeritud segus. Kaarlahendusega kaasneb suure soojushulga ja valguse eraldumine. Kaarlahenduse tekkeks peab elektroodide vaheline gaas olema ioniseeritud.

Elektrikaare süütamiseks tekitatakse elektroodi otsa ja keevitatava detaili vahel lühis, mille tulemusena kuumenevad kontaktpinnad suure voolutiheduse toimel sulamistemperatuurini. Elektroodi otsast algab elektronide emissioon ja need põrkuvad kokku aurustunud metalli aatomitega ja ioniseerivad neid. Tekib stabiilne kaarlahendus, millega kaasneb intensiivne soojuse eraldumine ja valguskiirgus. Kaarevahemiku ioniseerimise tõttu kõrgel temperatuuril liiguvad elektronid põhimetallile (päripolaarne keevitusvool) ja pidurduvad ning temperatuur tõuseb. Kaarevahemikus olev ioniseeritud gaas kujutab endast plasmata, mis muudab kaare elektrit juhtivaks ning temperatuur ulatub 6000...7000 °C.

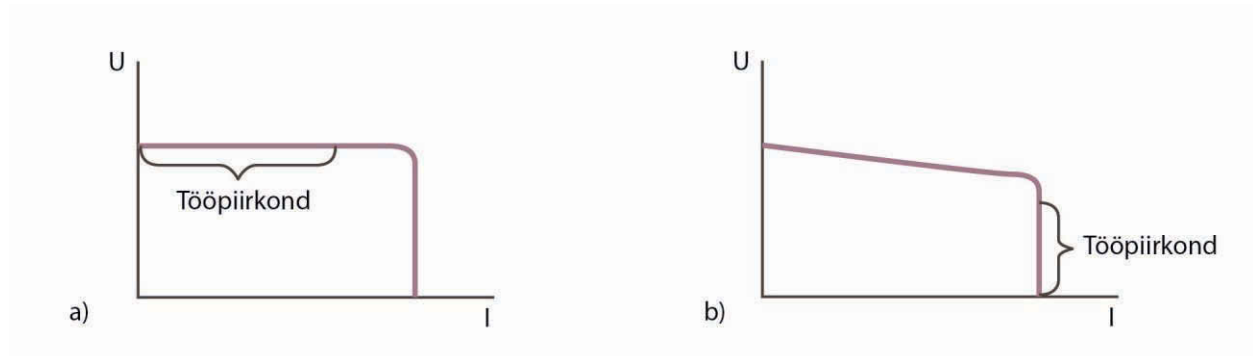
Keevituskaare püsivaks põlemiseks peab gaaside jagunemine elektronideks ja ioonideks olema pidev. Tavaliselt tekivad kaarevahemiku ioniseerimisel positiivsed ioonid, kuid fluor, hapnik jt elemendid võivad moodustada ka negatiivseid ioone. Keevituskaare püsivaks põlemiseks peavad keevitusvool ja kaare pinge olema kindlas seoses, mida nimetatakse **kaare staatiliseks tunnusjooneks** ehk **karakteristikuks**. Keevituskaart iseloomustatakse teljestikus „pinge-vool” kõveraga, mida nimetatakse kaare staatiliseks tunnusjooneks. Praktikas asendatakse kaare tunnusjoon sageli sirgega.

Keevituskaare toitmiseks kasutatakse kaarkeevitusel erikonstruktsiooniga ja teljestikus „pinge-vool” kirjeldatud välistunnusjoontega vooluallikaid, mille puhul on arvesse võetud nii keevitajale ohutut tühijooksupinget, kaare süütamiseks vajalikku minimaalset pinget, võimalust elektroodi ja detaili lühisest tekkivat suure lühisvoolu piiramiseks, keevitusprotsessi stabiilsuse tagamise nõudeid. Keevituse vooluallika staatiline pinge – voolu tunnusjoon saadakse olukorras, kus koormus väljundil muutub aeglaselt ja vooluallikas jõuab reageerida selle muutustele. Kõik keevituse vooluallikad saab staatilise tunnusjoone järgi jagada kahte rühma:

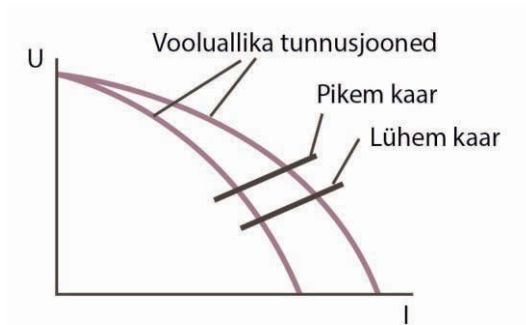
- **""Rüüivpingega ehk püsiva keevituspingega , nn jäiga tunnusjoonega vooluallikad**, kus keevituskaare pinge tööpiirkonnas praktiliselt ei sõltu keevitusvoolust (joonis 1.4 a). Kasutatakse MIG/MAG-keevitusel ja mõnel juhul räbustikaarkeevitusel.



- **"Rüisivvooluga ehk langeva tunnusjoonega vooluallikad**, kus keevitusvool tööpiirkonnas on praktiliselt püsiv (elektroonilised vooluallikad) või muutub minimaalselt (tavakonstruktsiooniga vooluallikad) (joonis 1.4 b). Kasutatakse käsikaar- ja TIG-keevitusel, räubustikaarkeevitusel jm.



**Joonis 1.4. Keevituse vooluallikate tunnusjoonte tüübid: a – püsivpingega, b – püsivvooluga vooluallikas**



**Joonis 1.5. Püsivvooluga vooluallika ja keevituskaare tunnusjooned käsikaarkeevitusel erinevatel kaare pikkustel**

Keevitusprotsessi stabiilsus määratakse keevituskaare ja vooluallika tunnusjoonte lõikepunktiga e tööpunktiga. Joonisel 1.5 on näidatud käsikaarkeevituse vooluallika tunnusjoone ja keevituskaare tunnusjooned erineval kaugusel detailidest asetseva elektroodi otsa e keevituskaare pikkustel. Keevitaja reguleerib vooluallikalt keevitusvoolu ja saab erineva tunnusjoone. Antud joonisel on näidatud kaks tunnusjoont suurema ja väiksema keevitusvooluga keevitamisel. Keevituskaare tunnusjoone asukoht sõltub kaarepikkusest keevitamisel. Jooniselt on näha, et keevituskaare pikenedes kaare pinge kasvab (tunnusjoon nihkub ülespoole), kuid keevitusvool väheneb. Keevituskaare lühenedes keevitusvool kasvab. Käsikaarkeevitusel tagab järsemalt langev tunnusjoon väiksema keevitusvoolu muutuse kaarepikkuse muutudes.

Kaarkeevituse vooluallikatena leiavad kasutamist: a) keevitustrafod; b) keevitusalaldid; c) keevitusinverterid; d) keevitusgeneraatorid.

Keevitustrafod on keevituse vahelduvvooluallikad, mis võimaldavad lihtsate tehniliste lahendustega, nt mähiste või magnetsüdamike nihutamise või magnetvälja puistevoogude muutmisega reguleerida keevitusvoolu. Konstruktsioonilt lihtsad ja töökindlad, kuid keevituskaare väikese stabiilsuse tõttu leiavad piiratud kasutamist. Keevitustrafode kasutus on piiratud: räubustikaarkeevitusega ja käsikeevitusega ehitusplatsidel.

Keevitusalaldid on keevituse alalisvooluallikad, mis sisaldavad reeglina trafot ja alalduselemente türistoride, diodide või seleenalaldite näol. Neid iseloomustab suur mass ja tundlikkus keskkonningimuste (temperatuur, niiskus) kõikumisele, mistõttu kasutatakse põhiliselt sisetingimustes. Tootmisettevõtetes kasutatakse keevitamisel reeglina alalisvoolu ja keevitusalaldeid.

Keevitusinverterid on elektroonsed vooluallikad, milles võrguvool alaldatakse, ja muudetakse 4...60kHz sagedusega impulssvooluks ja edasi trafoga alandatakse pinget. Tagasiside ahela kaudu on võimalik mikroprotsessortehnikaga kontrollida keevitusvoolu ja hoida seda püsivana. Võimaldavad saada nii alalis- kui ka vahelduvvoolu. Käsikaarkeevitusel iseloomustab keevitusinverterit püstiselt langev tunnusjoon, mistõttu keevitusvoolu suurus ei sõltu elektroodi otsa kaugusest detailidest.

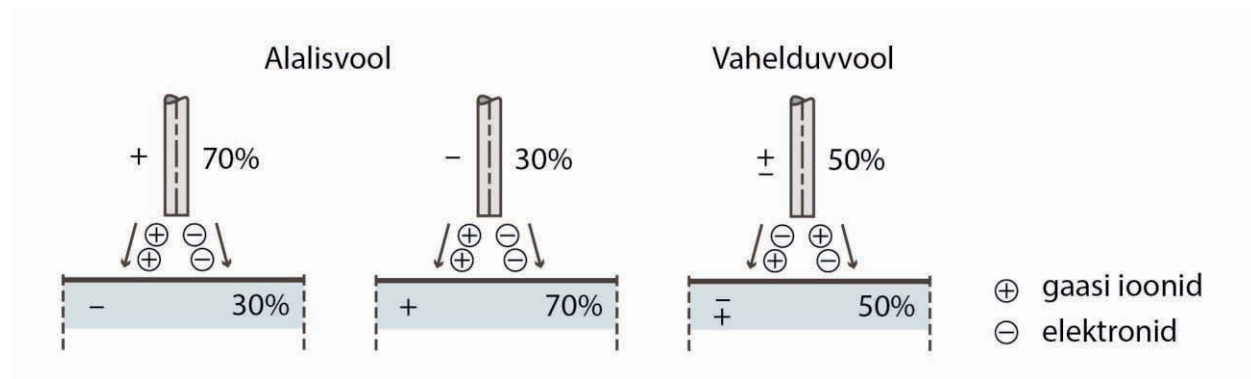
Keevitusgeneraatoreid käitatakse tänapäeval põhiliselt sise põlemismootoriga ja kasutatakse välitöödel, kus puudub elektrivõrk. Puuduseks on madal kasutegur, väike töökindlus. Üksikasjalikumalt käsitletakse vooluallikaid konkreetsete keevitusprotsesside kirjeldamisel. Kaarkeevitusel kasutatakse tavaliselt alalis- ja vahelduvvoolu, harvem impulssvoolu. Keevitusvoolu liik ja polaarsus valitakse sõltuvalt keevitusprotsessist.

**Vahelduvvoolu**, tähistus  $AC$ , iseloomustab väiksem keevituskaare stabiilsus, mistõttu leiab piiratud kasutamist käsikaarkeevitusel ja räubustikaarkeevitusel. Alumiiniumi TIG-keevitusel kasutatakse vahelduvvoolu metalli pinnalt oksiidikelme eemaldamiseks.

**Impulssvool, pulssvool** on üldjuhul reeglina nelinurkse lainekujuga vahelduvvool. Kasutusalaudeks on TIG-keevitus, MIG/MAG-keevitus, plasmakeevitus. Kaasaegsetes MIG/MAG keevitusseadmetes kasutatakse tarkvaraga juhivat unipolaarset impulssvoolu.

**Alalisvool, tähistus DC**, tagab stabiilsema keevituskaare ja liigitub omakorda polaarsuse järgi:

- Päripolaarne alalisvool – tähistatakse lühendiga DC<sup>-</sup>, mille puhul on keevituselektrood ühendatud vooluallika miinusklemmiga, enimlevinud. Kasutatakse käsikaarkeevitusel, TIG-keevitusel, plasmakeevitusel. Käsikaarkeevitusel päripolaarse alalisvooluga eraldub suurem soojushulk elektrodil kui detailidel ja elektrod sulab ja täidab kiiremini detailide vahelise pilu. Keevituskaar on alt laienev ja tekib lai ja madal keevisõmblus (joonis.1.6).
- Vastupolaarne alalisvool (DC<sup>+</sup>), mille puhul keevituselektrood on ühendatud vooluallika miinusklemmiga. Kasutatakse MIG/MAG-keevitusel, aluselise kattega elektrodidega käsikaarkeevitusel ja saadakse kitsam keevituskaar ja keevisõmblus.

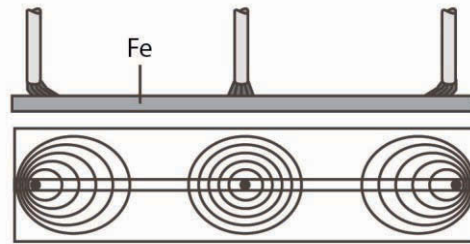


**Joonis 1.6. Polaarsuse mõju soojuse eraldumisele anoodil ja katoodil**

### Kaarkeevituse kaasnähtused

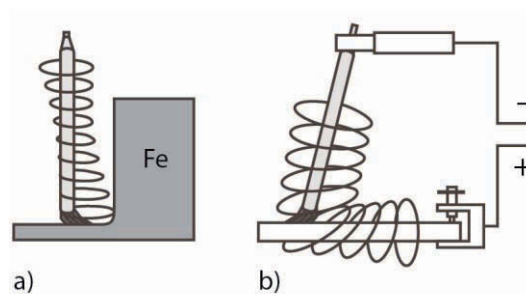
#### **Magnetpuhumine**

Elektrikaarleek on sarnaselt iga elektrivoolu all oleva elektrijuhiga ümbritsetud magnetväljaga. Kui piirata magnetvälja vaba liikumist, tekib keevituskaare kõrvalekaldumine, tuntud kui **magnetpuhumine** (vt joonis 1.7).



**Joonis 1.7. Magnetpuhumise mõju keevitatava detaili servadel ja keskel**

Kõige sagedamini tekib magnetpuhumise efekt keevitamisel alalisvooluga ning suurematel keevitusvooludel. Magnetpuhumine esineb erinevate paksustega materjalide keevitamisel (vt joonis 1.8 a), samuti maanduskontakti suurel kaugusel keevituskohast (vt joonis 1.8 b).



**Joonis 1.8. Magnetpuhumine erineva paksusega materjalide keevitamisel ja maanduskontakti kaugusel elektroodil**

Magnetpuhumist keevituskaare kõrvalekaldega täheldatakse nt pikkade T-liidete keevitamisel keevitamise alustus- ja lõpetuskohtades. Magnetpuhumise vältimiseks tuleb elektroodi kallutada natuke vastassuunas, kinnitada maanduskaabel võimalikult keevituskoha lähedale või kasutada vahelduvvoolu.

### 1.3 Keevituse kasutamine tööstuses

Keevitust kui liitmisprotsessi kasutatakse väga erinevates majandusharudes. Poolautomaatkeevitusega valmistatakse ehituslikke metallkonstruktsioone ja suurem osa masinatööstuses valmistatud seadmetest, nagu konveierid, mahutid, raamid, auto kered, järelhaagised. Eriti kõrgeid nõudeid keevistöodele esitatakse energeetikaseadmetele, nt elektrijaamade, soojusjaamade, katlamajade, külmhoonete valmistamisel kui ka remondil. Eraldi

grupi keevitustöödest moodustavad torustike ja torude keevitamine nii vee- ja soojavarustuse kui ka keemiatööstuse ning toiduainetööstuse tarvis.

Põhiliselt keevitatakse tööstuses terast, kuid laieneb alumiiniumi sulamite keevitamise maht. Ajalooliselt hakati esimesena kasutama käsikaarkeevitust kattega elektroodiga. Käsikaarkeevitus nõuab keevitaja kõrgeid kutseoskusi ja pikka väljaõppeaega. Keevitustööde kvaliteet sõltub põhiliselt keevitaja kutseoskustest ja õigest keevituselektroodide valikust ja nende ettevalmistusest. Käsikaarkeevituse osatähtsus on Euroopas ja USA-s u 20% kõigist keevitustöödest, kuid seevastu Hiinas ja Indias 80%. Käsikaarkeevituse kasutamine on kohustuslik teatud töödel nagu torustike valmistamisel, katelde remondil ja sageli ka montaažitöödel ehitusplatsidel. Kaarkeevitus kaitsegaasis, tuntud ka varem poolautomaatkeevituse või süsihappegaaskeevituse nimede all, leiab arenenud tööstusriikides laialdast kasutamist. Kuni 70-80% keevitustöödest teostatakse MAG keevitusega. MAG-keevitus võrreldes käsikaarkeevitamisega nõuab suurema arvu keevitusparameetrite reguleerimist ja vooluallika seadistamist. Kasutatavad lihtsa konstruktsiooniga nn trafoseadmed e tavaseadmed tõrjutakse välja elektroonsete vooluallikate poolt. Kaasaegsed MAG-seadmed on varustatud suure arvu lisafunktsioonidega, mis hõlbustavad keevitaja tööd ja võimaldavad tõsta keevisliidete kvaliteeti, kuid seavad täiendavaid nõuded keevitajate koolitusele. Kaasaegne keevistootmine hõlmab lisaks keevisõmbluste valmistamisele veel kvaliteetsete toorikute valmistamist, detailide hoolikat koostamist, meetmeid keevitusdeformatsioonide vähendamiseks ja keevisliidete kvaliteedi kontrolliks. Seeriatootmises kasutatakse erinevaid rakiseid nii detailide koostamiseks kui ka pööramiseks keevitamise käigus. Erilist tähelepanu pööratakse keevituse mehhaniseerimisele ja automatiseerimisele, nt keevitusrobotite kasutamisele. Keevitustootlikkust on võimalik tõsta uute keevitustehnoloogiate, nt täidistraatide kasutamisele või kõrgtootlike MAG-protsesside evitamisega. Tähtsal kohal on stabiilse keevitustööde kvaliteedi tagamine, mis tagatakse keevitajate hea väljaõppe ja treeninguga, aga ka automatiseerimise kasutamisele. Eriti oluline on keevitusvigade tekke ennetamine, kuna kõik defektsed kohad tuleb lahti lõigata ja uuesti keevitada. Plastsete metallide nagu alumiinium ja vask, aga ka nende liiteid terasega on hakatud valmistama mehaanilise keevitusmeetodiga - otshõõrdkeevitusega (vt alapunkt 4.8).



## Kordamisküsimused

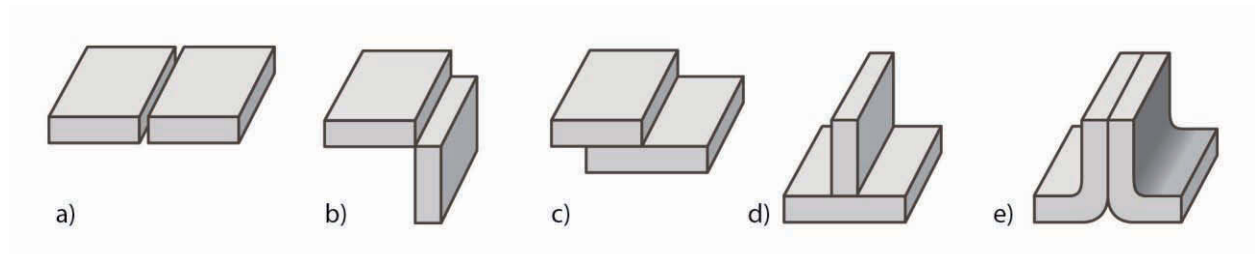
1. Loetlege keevisliidetele esitatavad nõuded mehaaniliste omaduste osas ja kuidas neid saavutatakse.
2. Mis iseloomustab sulakeevitust ja mis on põkkõmbluse läbikeevitus?
3. Kirjeldage survekeevituse põhimõtet.
4. Mis vahe on käsitsikeevitusel, poolautomaatkeevitusel ja automaatkeevitusel?
5. Mis on alustus-lõpetusplaadid ja milleks neid kasutatakse?
6. Mis on keevisõmbluse juuretugi ja millal seda kasutatakse?
7. Mille poolest erinevad püsivvooluga keevituse vooluallikad püsivpingega vooluallikatest?
8. Kirjeldage keevitustrafo ja keevitusalaldi erinevusi.
9. Miks on piiratud keevitustrafo del tühijooksupinget ja lühisvoolu?
10. Mis on magnetpuhumine keevitamisel ja kuidas saab vähendada selle mõju?

## 2. Keevisliidete olemus

### 2.1 Keevisliidete ja ja keevisõmbluste liigitus

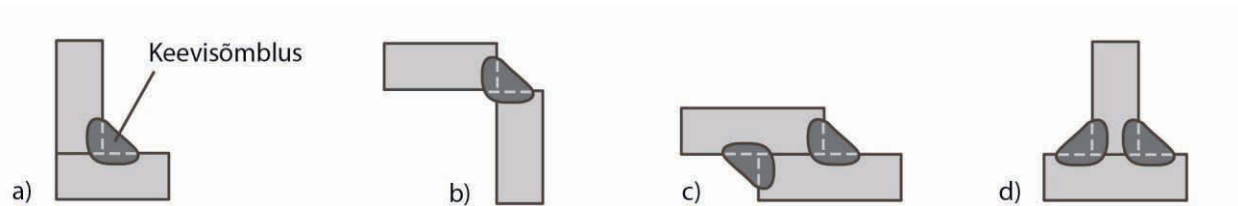
Keevituse kui liitmisprotsessiga valmistatakse erinevaid keevisliiteid ja keevisõmblusi. **Keevisliide** on kahest või enamast osast keevisõmblusega valmistatud kinnisliide, kusjuures ühendus tekib liidetavate pindade sulatatud servade või liidetavate pindade kontaktpinnas. Olenevalt ühendatavate detailide vastastikusest asendist eristatakse viit keevisliidete põhitüüpi (vt joonis. 2.1):

- a) **põkkliide**, kus detailid asetsevad ühes tasandis ja liidetakse servapidi;
- b) **nurkliide**, milles detailid asetsevad nurga (tavaliselt täisnurga) all ja liidetakse nurga tipu juures;
- c) **katteliide**, kus liide koosneb kahest pealekuti ülekattes olevast detailist;
- d) **T-liide** ehk vastakliide, kus üks detail asetseb teise suhtes risti, peamiselt T-tähe kujuliselt;
- e) **otsliide** ehk servliide, milles detailid asetsevad oma otstes paralleelselt ja liidetakse mõlema serva kaudu põkkõmblusega.



**Joonis 2.1. Keevisliidete põhitüübid: a) põkkliide; b) nurkliide; c) katteliide; d) T-liide; e) otsliide**

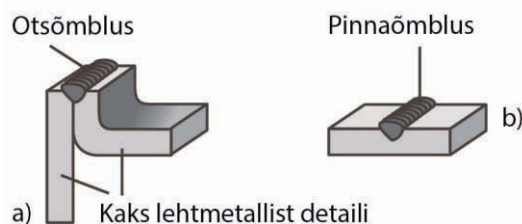
Keevitamise tulemusena tekib **keevisõmblus** ehk **keervis**. Eristatakse järgmisi põhiõmblusi: a) nurkõmblus; b) põkkõmblus; c) korkõmblus; d) soonõmblus; e) punktõmblus; f) joonõmblus.



**Joonis 2.2. Nurkõmbused erinevates keevisliidetes: a) sisemine nurkliide; b) välimine nurkliide; c) katteliide; d) T-liide**

**Nurkõmbelus** on ligikaudu võrdhaarse kolmnurga kujulise ristlõikega ja seda kasutatakse plaatide nurk-, kate- ja T-liidetes. See on kõige levinum õmbeluse tüüp kaar- ja gaaskeevitusel, kuna ei vajata detailide servade töötlemist ja liitepindadena kasutatakse detailide külgpindu. Nurkõmbused võivad olla T-liitel kas ühepoolsed või kahepoolsed, pidevad või katkendlikud. Katkendõmbused võimaldavad vähendada T-liidete deformatsioone keevitamisel ja kokku hoida lisametalli. Ideaalne nurkõmbelus on võrdsete külgedega ja üleminek detaililt õmbelusele on sujuv.

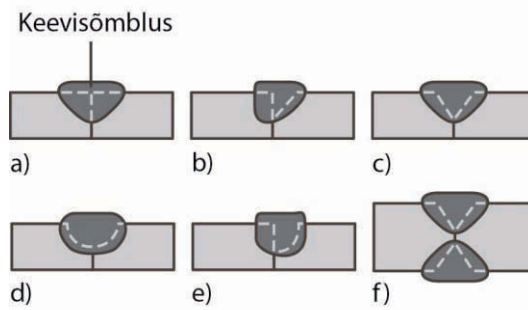
**Põkkõmbelus** leiab reeglina kasutust kui servavahemikõmbelus, mille puhul liidetakse detailide servad. Eristatakse veel **pinnaõmbelusi**, kus detailide pinnale on keevitatud keevislähimid, nt õhukese pleki liitmisel otsõmbelusega ja mõõtmete taastamisel (vt joonis 2.3).



**Joonis 2.3. Põkkõmbeluse rakendus otsõmbeluse ja pinnaõmbeluse**

Kui on vaja tagada põkkõmbeluse detailide läbisulatus nende paksuse ulatuses, siis antakse detailide servadele erinev kuju (vt joonis 2.4). Servavahemiku valik sõltub tavaliselt keevitatava materjali paksusest, keevitusprotsessist ja keevisõmbeluse asendist. Kaarkeevitusel keevitatakse tavaliselt kuni 4 mm paksust teraslehte ilma servi faasimata ja paksemat plaati tavaliselt V-tähe kujul faasituna. Erinevate servakujude korral tuleb kasutada erinevat keevitamistehnikat. Põkkõmbelusel moodustub keevitamise poolel kõrgem koht, mida nimetatakse keevisõmbeluse tugevduseks ehk vallikuks. Keevitavate detailide vastaspoolel ehk õmbeluse juure kohal

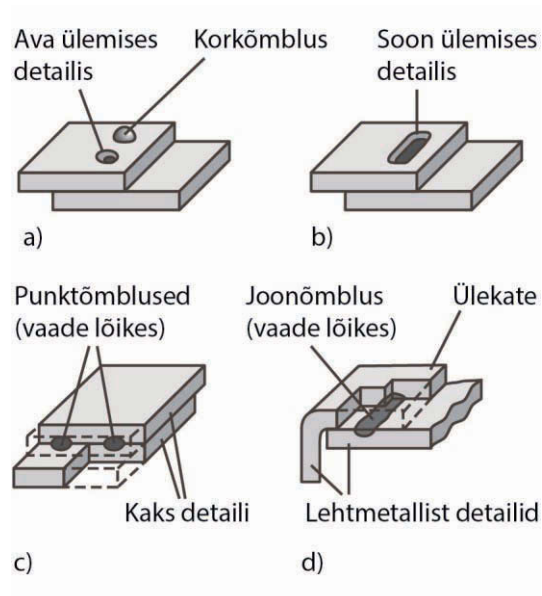
moodustub täieliku läbikeevituse korral samuti kõrgendus ehk tugevdus. Kvaliteetset põkkõmblust iseloomustab ühtlase laiusega kogu detailide pikkuse ulatuses võimalikult madal tugevdus, kusjuures üleminek detailidelt keevisõmblusele peab olema sujuv. Tavaliselt kasutatakse täieliku läbikeevitusega põkkõmblusi, kuid erandina ka osaliselt läbikeevitatud õmblusi, nagu on näidatud joonisel 2.4.



**Joonis 2.4. Detaili erinevate servakujude põkkõmblused: a) I-õmblus; b) HV-õmblus; c) V-õmblus; d) U-õmblus; e) HY-õmblus; f) X-õmblus**

**Korkõmblust** ja **soonõmblust** kasutatakse detailide liitmiseks katteliitena (vt joonis 2.5 a ja b). Ülemisse detaili puuritakse avad või freesitakse sooned, mis täidetakse lisametalliga, sulatades nii detailid omavahel kokku.

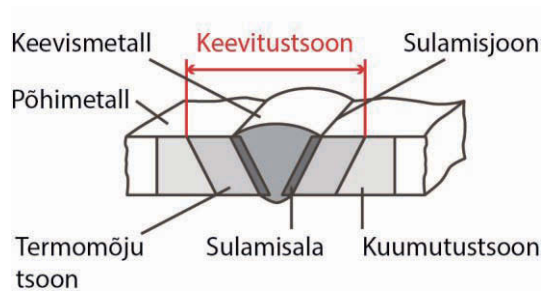
**Punktõmblust** ja **joonõmblust** kasutatakse katteliidetes, kusjuures sulatatakse kokku piiratud ringikujulised alad detailide vahel (joonis 2.5 c ja d). Tavaliselt koosneb joonõmblus liidetavate detailide vahel asetsevate punktõmbluste jadast. Punktõmblusi keevitatakse punktkontaktkeevitusega ja joonõmblusi joonkontaktkeevitusega.



**Joonis 2.5. Katteliite õmblusi: a) korkõmblus; b) soonõmblus; c) punktõmblus; d) joonõmblus**

## 2.2 Keevisliidete tsoonid ja struktuur

Keevisliide jagatakse järgmisteks piirkondadeks (vt joonis. 2.7):



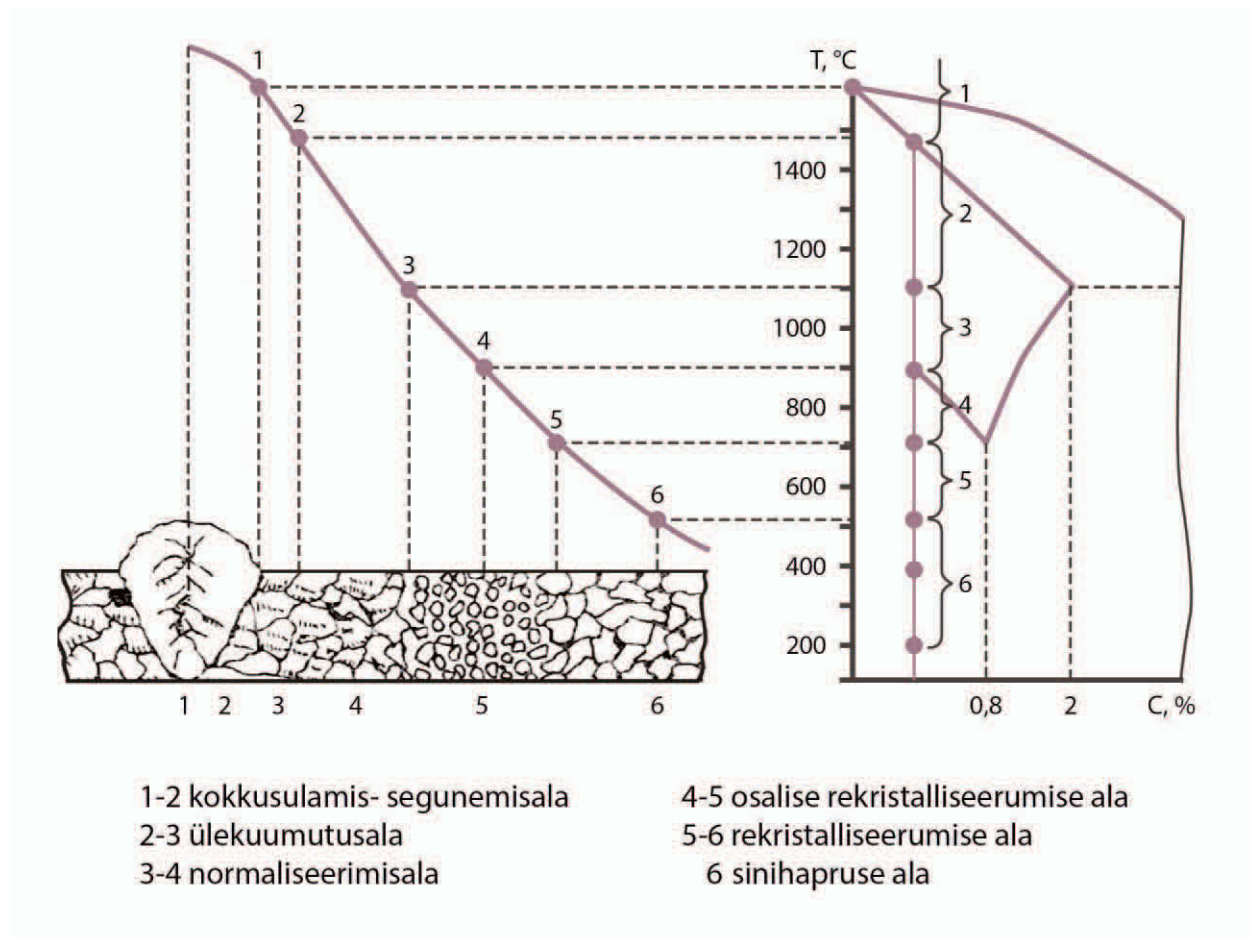
**Joonis 2.7. Keevisliite piirkonnad**

**Keevisliite piirkonnad.** Eristatakse keevisõmbluse sulamisala, kus keevismetall on moodustanud tugeva metallilise sideme põhimetalliga ehk detailidega. Keevisliite pealispinnal iseloomustab selle asukohta sulamisjoon. Sulamisjoonega piirnevat sulamisala loetakse kriitiliseks, kuna nimetatud tsooni ebapiisava sideme korral põhimetalliga võib esineda kokkusulamatuse defekt, mille tõttu liide kaotab kandevõime.



Praktikas mõjutab keevisliite mehaanilisi omadusi kõige rohkem **termomõju tsooni** struktuur, laius ja omadused. Termomõju tsoon on keevisliite põhimetalli sulamata osa, kus on toimunud struktuurimuutused ja võivad tekkida defektid pragude kujul. Liigsel terase kuumutamisel võib tekkida jämedateraline madalama löögisitkuse ja plastsusega struktuur. Eristatakse veel kuumutustsooni, kus temperatuur on kõrgem kui ülejäänud detailide temperatuur. Selle ala laius mõjutab keevitusdeformatsioone.

Vaatleme lähemalt keevisliite termomõju tsooni struktuure (vt joonis 2.8) seostatuna terase (C = 0,3%) faasidiagrammiga.



**Joonis 2.8.** Keevisliite termomõju tsooni alad: 1–2 sulamis-segunemisala; 2–3 ülekuumutusala; 3–4 normaliseerimisala; 4–5 osalise rekristalliseerumise ala; 5–6 rekristalliseerumise ala; 6 – sinihapruse ala

Süsinikteraste keevitamisel võivad termomõju tsoonis esineda sõltuvalt keevitamise termotsüklist järgmised madalamate mehaaniliste omadustega alad:

- Ülekuumutusallas ferriidi tera tunduv kasv, mis sõltub kuumutustemperatuurist ja hoidmisajast.
- Osalise rekristalliseerumise alas võib terase süsinikusisaldusel üle 0,3% ja terase legerimisel tekkida martensiit, kõva ja habras karastusstruktuur, mis võib jääkpingete korral esile kutsuda külmpragusid.
- Sinihapruse piirkonnas eralduvad mikrostruktuuris nitriidid ja karbiidid, mis tõstavad terase haprust ja võivad põhjustada pragusid keevistoodete mehhaanilisel õgvendamisel.

Termomõjutsoonis võib tekkida normaliseerimisalas ka suurema tugevusega piirkond.

Kokkuvõtteks võib märkida, et keevisliide on oma struktuurilt ja omadustelt äärmiselt ebaühtlane. Keevitusdeformatsioonide vähendamise ja keevisliite kvaliteedi seisukohalt on soovitatav, et termomõjutsooni laius oleks minimaalne. Seetõttu tuleks paksemat terasplaati keevitada suurema arvu keevituslähimitega ehk väiksema soojussisestusega. Keevisliite termomõjutsooni tugevusomaduste halvenemise (karastusstruktuuride ja külmpragude teke) või jämedateralise struktuuri vältimiseks tuleb vajadusel kasutada ettekuumutust või siis kontrollida keevituse soojussisestust.

## 2.3 Erinevate metallide keevitatus

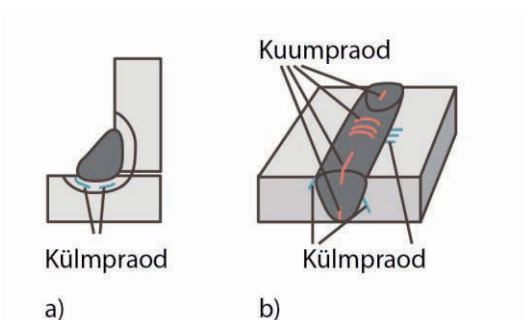
Praktikas on täheldatud, et mitte kõiki metalle ei ole võimalik edukalt keevitada soovitud omadustega liidete saamiseks ja et ühed keevitusprotsessid sobivad paremini ühtede ja teised paremini teiste materjalide keevitamiseks. Mitte kõik keeviskonstruktsioonid ei sobi oma konstruktiivsete lahenduste poolest keevitamiseks ja on seetõttu tehnoloogiliselt sobimatud. Neid asjaolusid seostatakse terminiga **keevitatus**.

**Materjali keevitatus** all mõistetakse tema võimet moodustada antud keevitusprotsessiga kvaliteetne keevisliide, aga ka konstruktiivset sobivust keevitamiseks (jäik konstruktsioon, ligipääsetavus jm) ja keevitusprotsessi kasutamissobivust selle materjali liitmiseks. Sageli seostatakse metalli keevitatus kui materjali tehnoloogilist omadust keevisliites esineda võivate

erinevat tüüpi pragude tekke riskiga. Teraste keevitamisel tuleb põhiliselt arvestada külmpragude ja kuumpragude tekkimise riskiga.

## Külmpraad

Külmpraad tekivad terases tavaliselt keevisõmbluse kõrval termomõju tsoonis (vt joonis 2.9). Kui keevisliide purustada, siis on purunemispind hele, ilma oksüdeerumisjälgedeta, mis viitab sellele, et praod tekkisid pärast keevisliite jahtumist. Keevitusalastes standardites nimetatakse neid pragusid ka vesinikpragudeks, kuna nende tekkimisel mängib olulist rolli keevisõmblusesse sattunud vesinik.



### Joonis 2.9. Praod keevisliidetes: a) nurkliide, b) põkkliide

Külmpragude tekkimise peamiseks põhjuseks on hapra karastusstruktuuri martensiidi moodustumine terases, suured keevituse sisepinged keevisliites ja keevismetalli sattunud vesinik. Vesinik satub termomõju tsooni niiskusest elektrodikattelt, veest, õlist ning mustusest detailide servadel.

Praad moodustuvad, kui kõik kolm eelnimetatud tegurit esinevad üheaegselt. Külmpraad võivad tekkida terases keevitamisel miinustemperatuuril ja tuule käes, mis põhjustab metalli kiiret jahtumist. Tänapäevastes kõrgtugevates terases võivad tekkida praod ka paksu materjali keevitamisel plus temperatuuril. Sageli on vastutusrikaste toodete keevitamisel vaja oodata 16–34 tundi, kontrollimaks keevisliite purunematust, sest selle aja peale on praod juba tekkinud. Keevitamise sisepinged tekivad alati, kuid nende suurust on võimalik vähendada erinevate võtetega, nt keevitades lõikudena.

Kuna külmpragude tekkimine on seostatav terase karastusefektiga, siis viimane tugevneb terase süsinikusisalduse tõustes. Süsinikterased hakkavad karastuma kiirel jahtumisel kõrgemal

**süsinikusisaldusel kui 0,25%** ja samal ajal võivad tekkida külmpraad. Lisaks tugevdab karastusefekti terase koostises olev mangaan, nikkel, kroom jt elemendid, mille mõju hinnatakse süsinikekvivalendi valemi kordajate abil.

Teraste keevitatavuse hindamiseks külmpragude riski järgi kasutatakse süsinikekvivalendi mõistet, kus terase koostises olevad keemilised elemendid tinglikult teisendatakse süsinikusisaldusele. **Süsinikekvivalendi** arvutamiseks kasutatakse erinevaid valemeid. Rahvusvaheliselt tunnustatud valem süsinikekvivalendi määramiseks on järgmine:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Konstruksiooniteraste keevitatavuse hindamisel loetakse standardites sageli kriitiliseks CE väärtuseks 0,43, mille ületamisel tuleb hinnata detailide ettekuumutuse vajadust. Tavaliselt arvatakse, et madalsüsinikterastel voolavuspiiriga alla 360 MPa ja paksusega alla 25-30 mm on külmpragude risk väike. **Järelikult terasemargi S355 keevitamisel plaadi paksusel üle 30 mm tuleb arvestada külmpragude tekkimise võimalusega.** Õhema teraslehe või väiksema tugevusega terase (nt mark S185, S235) ei ole pragude teke tõenäoline.

## **Kuumpraod**

Austeniitse roostevaba terase ja alumiiniumisulamite keevitamisel võivad tekkida keevisõmbluse sees praod (vt joonis 2.9). Kuna liidete murdepinnad pragude kohal on oksüdeerunud, siis see viitab pragude tekkele keevitamise ajal. Roostevaba terase keevitamisel tuleb valida sobiva keemilise koostisega elektroodid austeniitse struktuuri vältimiseks keevismetallis. Kuumpragude tekkimine võib sõltuda nii sisepingetest kui ka keevisõmbluse ristlõike kujust. Optimaalse ristlõikega, eelkõige õmbluse laiuse  $w$  ja kõrguse  $d$  suhtega  $w/d = 1-1,5$  on kuumpragude tekkimise risk kõige väiksem.

## **Teraste rühmitamine keevitatavuse järgi**

Metallide keevitamise praktikas on terased jaotatud 11 gruppi, põhiliselt nende keevitatavuse järgi. Konstruksiooniterased on grupeeritud nende mehaaniliste omaduste järgi. Teraste grupeerimist kasutatakse keevituprotseduuride spetsifikaatide kehtivuspiiride määramiseks ja varem ka keevitaja eurosertifikaadi EN 287-1 järgi kehtivuspiiride määramiseks. Kehtib

põhimõtte, et kui on saadud hakkama keerukamat või täpsemat keevitustehnoloogiat vajava terasemargi keevitamisega, siis antakse pädevus ka lihtsamini keevitavate teraste keevitamiseks. Üldjoontes annab kõrgema grupinumbriga terase edukas keevitamine õiguse keevitada madalama grupi teraseid, nt 2. grupi terase keevitamine annab teoreetilise pädevuse keevitamaks 1. grupi teraseid ja 3. grupi terase keevitamine pädevuse 2. ja 1. grupi terase keevitamiseks. Vajalikud kehtivuspiirid on toodud tabelite kujul standardis EVS EN ISO 15614-1.

Tavaliselt keevitame 1. grupi teraseid voolavuspiiriga alla 275 MPa. Näiteks alagruppi 1.1 kuuluvad ehitusterased voolavuspiiriga 185 ja 235 Mpa (margid S185, S235), alagruppi 1.2 terased voolavuspiiriga vahemikus  $275 \geq R_e \leq 360$  (Eesti praktikas terased margiga S355). Siin on paksema plaadi keevitamisel vaja kasutada ettekuumutust ja kontrollida või isegi suurendada keevituse soojussisestust. Konstruksioonide valmistamisel on hakatud kasutama alagruppi 1.3 kuuluvaid normaliseeritud peenteraseid margiga S420, mis vajavad hoolikat keevitusparameetrite kontrolli keevitamise ajal. Erinevate teraste tootjad annavad internetis soovitusi nende edukaks keevitamiseks.

### **Roostevaba terase keevitatus**

Roostevabad terased sisaldavad legeerelementidena vähemalt 12% Cr, aga ka Ni, Mo, N, Ti. Kroom oksüdeerub terase pinnal, moodustades seal oksiidikelme ja kaitstes nii pinnakihti korrosiooni eest. Laialdaselt kasutatakse austeniitset terast (mark AISI 304 või 1.4301), mis sisaldab 18% Cr ja 8-10% Ni ja loetakse **18-8-tüüpi** kroom-nikkel-tüüpi teraste esindajaks. Korrosiooni-kindlust parandab legerimine molübdeeniga. Enimlevinud terasemark on AISI 316 ehk 1.4436, mis sisaldab 17% Cr, 11% Ni, 2,7% Mo, tuntud ka happekindla terasena.

Austeniitsed terased leiavad kasutamist soojusvahetites, mahutites, torustikes, energeetika- ja külmatehnikaseadmetes. Vähem kasutatakse ferriitseid (11-18% Cr), martensiitseid (12-17% Cr) roostevabu teraseid. Kasvab austeniit-ferriitstruktuuriga nn dupleksteraste kasutamine. Austeniitsete roostevabade teraste omadused ja keevitamine erineb madalsüsinikteraste omast järgmiselt:

1. Madalam terase sulamistemperatuur, mistõttu on vajalik keevituskaare väiksem võimsus.

2. Madalam (kuni 3 korda) soojusjuhtivus, mille tulemusel suureneb läbikeevitus ja kõrgem termomõjutsooni temperatuur. On vaja piirata keevitusenergiat ja keevitusvoolu.
3. Suurem joonpaisumistegur. Kaasnevad suuremad keevitusdeformatsioonid, mille vähendamiseks tuleb detailid kinnitada tihedamalt traagelõmblustega vahekaugusega 30–120 mm. Samuti peab õhupilu detailide vahel olema suurem. Detailid tuleb kinnitada jäigalt rakistesse ja kasutada keevitamist lõikudena (nn vastusammuga keevitamine).
4. Kõrgem (4–7 korda) elektritakistus.
5. Elektroodi koostise ebaõigel valikul võivad tekkida kitsaste ja sujuvate õmbluste keskel kuumpraod, mis on tingitud austeniitse struktuuri tekkimisest keevisõmbluses.
6. Paksu plaadi keevitamisel piiratakse keevituse soojussisestust vahemikus 1,0–1,5 kJ/mm. Selleks keevitatakse sirged läbimid ilma püstolit võngutamata.
7. Torude keevitamisel tuleb kaitsta toru sisepinda oksüdeerumise eest juuregaasi (Ar) juhtimisega toru sisse.
8. Pärast keevitamise lõpetamist puhastatakse keevisõmblus ja kõrvalala hoolikalt pritsmetest ja eemaldatakse oksiidikelme liivpritsiga või roostevabast traadist harjadega. Oksiidikelme võib eemaldada ka söövitamisega. Pärast mehaanilist puhastamist töödeldakse pind happelahustiga või pastaga ehk passiveeritakse.

### **Alumiiniumi keevitavuse iseärasused**

Alumiiniumi ja selle sulamite keevitamine erineb madalsüsinikteraste keevitamisest alltoodu poolest:

1. Al madala sulamistemperatuuri ~660 °C, sulamitel ~565 °C juures ei muutu sulamisel metalli värvus, mis raskendab keevitaja tööd.
2. Soojusjuhtivus on 4–5 korda kõrgem. Liitevigade ja pooride tekke tõenäosus on suurem, kuna keevituskaare energiast ei piisa metalli küllaldaseks kuumutamiseks ja läbisulatamiseks. Suur jahtumiskiirus soodustab keevitamist ruumiasendites, kuna keevisvann jahtub kiiresti.

3. Soojuspaisumine on kuni 2 korda suurem, metalli kahaneb tardumisel kuni 6%. Seetõttu võib keevistoode märgatavalt deformeeruda. Kõige suuremad deformatsioonid on materjali paksusel 8 mm. Õhema või paksema materjali korral on kujumuutused väiksemad.
4. Pinnale tekib metallist raskem oksiidikile  $Al_2O_3$ , mis ei sula keevisõmbluses. Oksiidiosa-kesed vajuvad keevisvanni ja tekitavad defekte. Oksiidikile seob niiskust ja viib keevisõmblusesse vesinikku ning tekitab poore.
5. Pooride tekkimise tõenäosus on suur. Tuleb puhastada liitepinnad, jälgida keevitusmaterjalide ladustamise aega (kuni 12 kuud), kaitsegaasi, töökeskkonna puhtust – liitepindadel ei tohi olla õli ja rasva jälgi.
6. Keevitussuits on mürgisem ja mõjub kahjulikult kesknärvisüsteemile.
7. Keevitusõmbluse keskel või kõrval võivad tekkida kuumpraod. Kaitsegaasina kasutatakse alumiiniumi MIG-keevitusel puhast Ar (99,99%) või Ar-He segu.

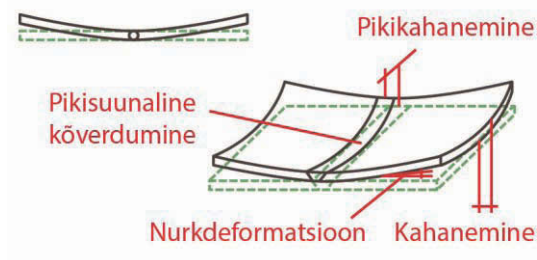
Alumiiniumi keevitamiseks tuleb kasutada ainult selleks ette nähtud keevitusseadet, et vältida mustuse sattumist etteanderullide, voolukontaktide ja traadi kanali pinnalt keevitustraadile. Enne keevitamise alustamist tuleb kontrollida kaitsegaasi voolikute seisukorda. Keevituspüstolis ja voolikus seisnud traat tuleb enne keevitamise alustamist eemaldada.

### **Kordamisküsimused**

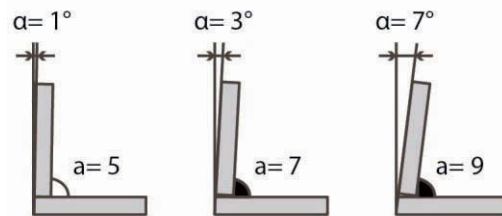
1. Kirjeldage nurk- ja põkkõmbluse erinevust ja nende kasutust erinevates liidetes.
2. Põhjendage paksema materjali servade kaldulõikamise-faasimise vajadust. Millist servakuju kasutatakse terase keevitamisel?
3. Mis on keevisliite termomõjutsoon? Kirjeldage üksikute alade omadusi.
4. Kus võivad keevisliites tekkida praod süsinikteraste ja roostevabade teraste keevitamisel?

### 3. Keevitusdeformatsioonid

Metallide keevitamisel tekivad keevisliidetes sisepinged, mis tekitavad plastseid **deformatsioone** ehk kujumuundeid ja konstruktsiooni mõõtmete vähenemist. Viimast nähtust nimetatakse kahanemiseks ja see võib ulatuda terasest põkkliidete korral kuni 0,05...0,3 mm õmbluse ühe meetri kohta. Keevitusdeformatsioonid ja mõõtmete kahanemine sõltub keevitatavast materjalist (joonpaisumistegurist), selle paksusest ja kasutatud keevitusprotsessist. Joonisel 3.1 on näidatud põkkliite deformatsioonid – nurkdeformatsioon ja kõverdumine – ning mõõtmete kahanemine. Joonisel 3.2 on kujutatud erineva nurkõmbluse kõrgusega keevitatud nurkliite nurkdeformatsioon. Jooniselt on näha, et nurkõmbluse suurendamisel nurkdeformatsioon kasvab. Joonisel 3.3 on näidatud T-liite pikideformatsioonid alusplaadi erineva paksuse juures. Deformatsiooni suund sõltub alusplaadi paksusest ja T-tala sümmeetriatelje asukohast. T-tala kõverdub kõigis suundades. Jäikusribide keevitamine (vt joonis 3.4) kutsub esile täiendavaid kohtdeformatsioone. Keevituse sisepinged võivad teatud juhtudel põhjustada keevisliite enneaegset purunemist, mõõtmete muutust aja jooksul, kiirenenud korrosiooni.

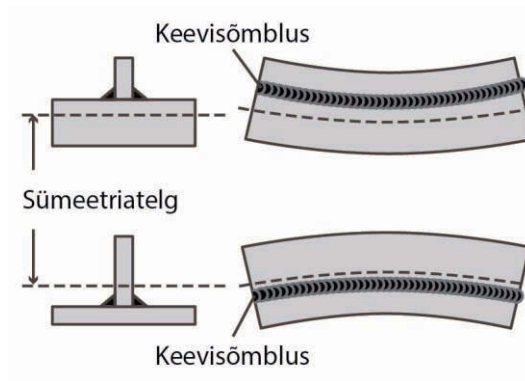


**Joonis 3.1. Plaadi põkkliite deformeerumine**

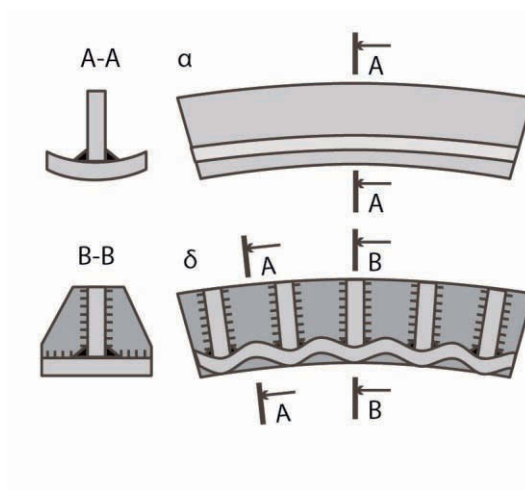


**Joonis 3.2. Nurkliite deformeerumine sõltuvalt õmbluse kõrguse mõödust a**





**Joonis 3.3. T-liite deformeerumine (külgsaade)**

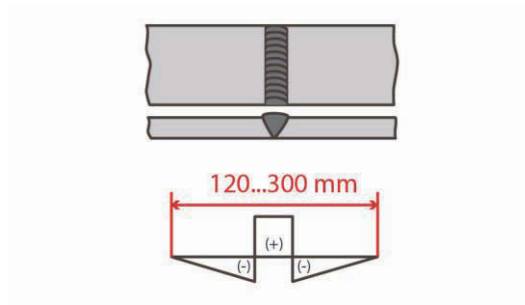


**Joonis 3.4. Jäikusribidega T-tala deformeerumine**

Keevisliite deformatsioone ja sisepingeid põhjustavad järgmised nähtused:

- sula keevismetalli kahanemine tardumisel
- põhimetalli takistatud paisumine kuumutamisel külmaks jäänud keevisliite osades ja edasi jahtumisel kuumenenud osade takistatud kahanemine
- ebahühtlane temperatuuriväli nii keevisliites kui ka tootes

Eelkirjeldatud nähtuste toimel tekivad keevisõmbluses piki- ja põiksuunalised tõmbepinged. Harilikult tekivad keevisõmbluses ja selle kõrval tõmbepinged (tähistatud +) ja kaugemal survepinged (tähistatud –), vt joonis 3.5.



**Joonis 3.5. Keevituse sisepinged põkkliites**

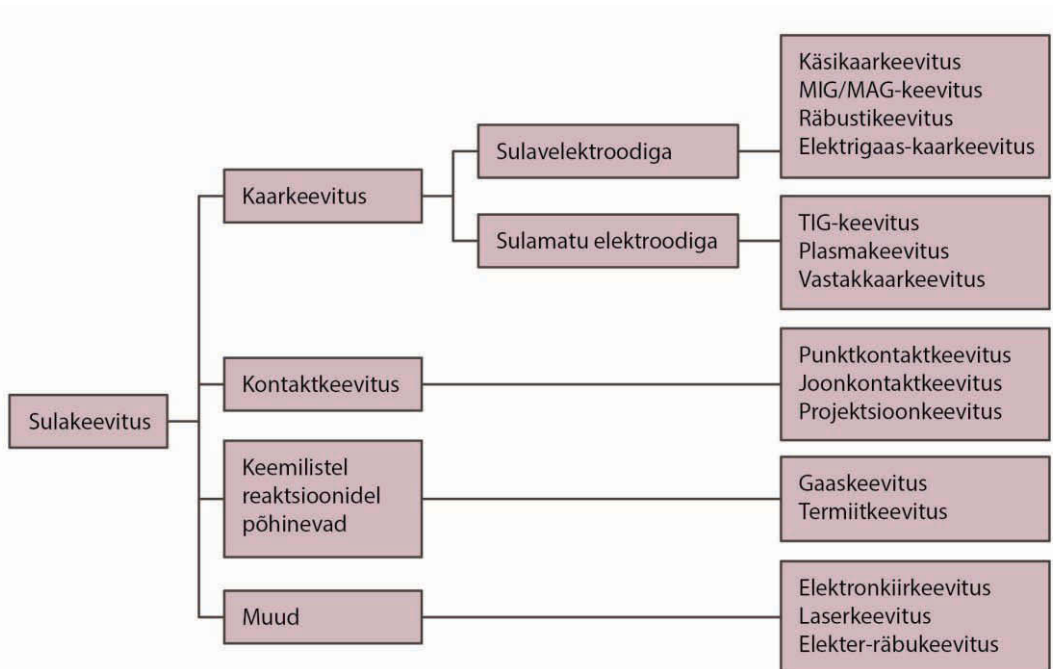
### **Kordamisküsimused**

1. Näidake eskiisil kahe plaadi põkkõmbluse võimalik deformeerumine keevitamise tulemusena.
2. Näidake eskiisil kolmes vaates T-tala võimalik deformeerumine keevitamise tulemusena.
3. Kirjeldage, millised pinged (tõmbe- või survepinged) tekivad keevisõmbluse kõrvalalal.

## 4. Tööstuslikud keevitusprotsessid

Metallide liitmiseks kasutatakse peamiselt sulakeevitusprotsesse. Joonisel 4.1 on toodud põhiliste sulakeevitusprotsesside liigitus. Allpool vaadeldakse neist levinumaid.

Keevitusprotsesse tähistatakse tähtlühenditega, mis on erinevad Euroopas ja USA-s. Keevitusprotsesside tähistamise ühtlustamiseks on need rühmitatud kindlate tunnuste järgi ja neile on omistatud tunnusnumbrid. Keevitusprotsessi tunnusnumber kantakse nii keevitaja sertifikaadile kui ka keevitusprotseduuri spetsifikaadile WPS-ile. Antud peatükis käsitletakse põhilisi Eesti tööstuses kasutatavaid keevitusprotsesse.



Joonis 4.1. Sulakeevitusprotsessid

### 4.1 Käsikaarkeevitus

#### 4.1.1 Käsikaarkeevituse olemus

**Käsikaarkeevitus** (tuntud ka kui elektroodkeevitus, tähistatud rahvusvaheliselt Euroopas lühenditega MMA ja SMAW) kuulub rahvusvahelise liigituse järgi kaarkeevitusprotsesside rühma ja alarühma metallkaarkeevitus ilma kaitsegaasita. Keevitusprotsessi tunnusnumber on standardi

EVS-EN 24063 järgi 111. Keevituselektroodi kontaktosa on kinnitatud elektroodihoidikusse ja ühendatud kaabli abil vooluallikaga. Elektroodihoidiku käepide on elektriliselt isoleeritud, tagamaks keevitaja ohutust. Käsikaarkeevituse põhiskeem on toodud joonisel 4.2. ja protsessi kirjeldus joonisel 4.3.



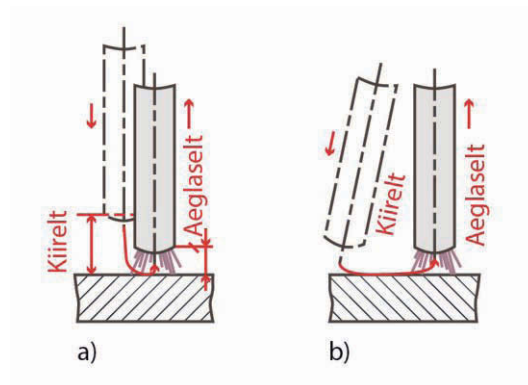
**Joonis 4.2. Käsikaarkeevituse üldskeem: 1 – seadme ühendus vooluvõrku, 2 – vooluallikas, 3 – keevituskaabel koos elektroodihoidikuga, 4 – maandus ehk tagasivoolukaabel, 5 – elektroodihoidik, 6 – elektrood, 7 – tagasivoolukaabli kinnitusklemm, 8 – keevitav metall, 9 – keevituskaar**

Keevitusprotsessi kirjeldab joonis 4.3, kus 10 – sulatatav elektroodivarras, 11 – elektroodi kate, 12 – elektroodivarda ja räubusti tilkade ülekanne (siire) keevisvanni, 13 – sula keevitusräubusti, 14 – vedel keevitusräbu, 15 – tardunud keevitusräbu, 16 – keevisvann, 17 – keevisõmblus. Elektrood kinnitatakse elektroodihoidikusse 5 ja keevitav detail ühendatakse vooluringi maandusklemmi 7 abil.



**Joonis 4.3. Käsikaarkeevitus: 10 – sulatatav elektroodivarras, 11 – elektroodi kate, 12 – elektroodivarda ja räubusti tilkade ülekanne (siire) keevisvanni, 13 – sula keevitusräubusti, 14 – vedel keevitusräbu, 15 – tardunud keevitusräbu, 16 – keevisvann, 17 – keevisõmblus [3]**

**Keevituskaar** süüdatakse lühikese kiire löögiga (puutega) või elektroodiga keevitatavat metalli kraapides (liugpuutega), nagu on näidatud joonisel 4.4.



**Joonis 4.4. Kaare süütamine kiire hetkelse püsipuutega (a) ja liugpuutega (b)**

Esimese (a) mooduse korral tuleb elektrood viia hetkeks kokkupuutesse keevitatava metalliga ning pärast kerget kokkupuudet viia keevitatavast detailist 2...5 mm kaugusele. Teine moodus (b) sarnaneb tiku süütamisega: elektroodiotsa tuleb detaili pinnal kraapida. Kui kaar keevitamisel kustub, on vaja see süüdata keevisvanni kõrval põhimetalli pinnal ning seejärel uuesti suunata sulametalli peale ja jätkata keevitamist. Elektrikaar tuleb süüdata alati keevitataval serval. Elektri-kaarre süütamise koht peab olema sulatatud ja kinni keevitatud, vastasel juhul võivad tekkida praod.

Keevitaja peab tagama kaare põlemiseks konstantse kauguse elektroodi ja keevitatava metalli vahel. Liiga pikk elektrikaar vähendab läbikuumituse sügavust, suurendab magnetpuhumist ning aluselise kattega elektroodide puhul kutsuvad esile pooride tekke keevisõmbluses. Kaare pikkuse suurenemine vähendab selle põlemise stabiilsust, suurendab kadusid põlemisel ja pritsmetena ning tekitab konarliku pinnaga keevisõmbluse.

Elektri-kaarre pikkus elektroodi ning keevitatava metalli vahel peab olema järgmises vahekorras:

$$L = 0,5 \times d \text{ (aluseline (B) elektroodikate)}$$

$$L = 1,0 \times d \text{ (ülejäanud (R, C, RC) elektroodikatted)}$$

Õigesti valitud elektri-kaarre pikkusest sõltub keevitamise tootlikkus ja keevisõmbluse kvaliteet. Oskus hoida kaare pikkust konstantsena näitab keevitaja kutseoskusi.

Kaarkeevitamisel avaldab keevituskaar keevisvannile survet. Sula keevismetall surutakse kaare alt välja, kaar süvistab põhimetalli ja läbisulatus suureneb. Kaare surve on võrdeline keevitusvoolu ruuduga ja paksukattelise elektroodiga keevitades on süvistus piirides 3...4 mm. Sulametall paisatakse keevituskaare liikumisel temast tahapoole. Sulamistsoonis tekib süvend, mis on kaetud õhukese sulametallikelmega, mis püsib pindpinevusjõu toimel.

Elektroodikattest eralduvad gaasilised ained tekitavad kaarevahemikus gaasipilve ja keevisvanni gaasikaitse ümbritseva keskkonna hapniku, lämmastiku ja vesiniku kahjuliku mõju vastu. Räbuga kaetud elektroodivarda sulanud metalli tilgad, aga ka katte sulamisel tekkinud vedelad räbutilgad sulanud põhimetallist moodustavad keevisvanni (vt joonis 4.3). Kergemad lisandid (gaasid, oksiidid, räbu) kerkivad keevisvannis metalli pinnale. Elektroodikatte kaudu keevisvanni viidud desoksüdeerijad (Mn, Si) reageerivad oksiididega ja tekkinud ühendid tõusevad räbusse.

Sulametallivanni peal olev vedel räbu kaitseb metalli ümbritseva keskkonna eest. Edasisel jahtumisel räbu tardub ning moodustab räbukooriku. Käsikaarkeevitusel nihutab keevitaja elektroodi piki õmblust (nn keevituskiirus). Metallurgiaprotsesside ning kõrge temperatuuri (6000...7000 °C) tõttu väheneb keevisõmbluse metallist väljapõlemise tulemusena C, Mn, Si, Cu jt elementide sisaldus, mis kompenseeritakse elektroodikattes viidud legeerelementide ja desoksüdeerija abil.

Elektroodkeevitust iseloomustab madal voolutihedus elektroodivardas – 10...20 A/mm<sup>2</sup>. Kasutatavate keevitusvoolude piirkond elektroodi läbimõõdul 1,6...6,0 mm on piirides 50...400 A.

Keevituskiirus ja tootlikkus on käsikaarkeevitusel suhteliselt väike ning see on ka üheks selle meetodi puuduseks. Ühe elektroodi sulatamiseks kuluv aeg on sõltuvalt voolutugevusest pool kuni kaks minutit, sellele lisanduvad ajakaod elektroodi vahetamiseks ja kaare süütamiseks.

Käsikaarkeevitust kasutatakse kõikide teraseliikide, malmi, nikli ja vasesulamite keevitamiseks ja piiratult alumiiniumi remontkeevituseks.

Käsikaarkeevitus sobib peaaegu kõigis keevitusasendeis keevitamiseks, kui on valitud õige elektroodikatte ning keevitusparameetrid. Materjali paksus peaks olema vähemalt 1,5 mm, paksuse

ülempiiri ei ole. Käsikaarkeevitust võib kasutada nii sise- kui välitingimustes, samuti veealuseks keevituseks.

Käsikaarkeevituse eelised on:

- lai keevitatavate materjalide valik
- kasutatav kõikides keskkonnatingimustes
- seadmete hea transporditavus, ligipääsetavus
- lihtsad ja hästi teisaldatavad seadmed
- lai lisaainevalik, st elektroodide valik varada metalli ja katte koostise järgi
- lihtne keevitusparameetrite seadistamine
- õmbluse hea kvaliteet

Käsikaarkeevituse puudused:

- väike tootlikkus, va kõrgtootlike elektroodidega
- halb mehhaniseeritavus
- protsessi mittepidevus, palju alustus- ja lõpetuskohti, mis võivad põhjustada keevitusvigu
- eraldub palju kahjulikke keevitusgaase
- elektroodikatete niiskusimavus, mis nõuab keevituselektroodide hoolikat ladustamist, säilitamist ja ettevalmistust-kuivatamist

#### **4.1.2 Elektroodimetalli siirdeprotsess ja siirdemehhanismide liigitus**

Kaarkeevitusprotsess sõltub suurel määral sulanud **elektroodimetalli siirdemehhanismist** keevisvanni ning on seotud keevitusviisi ja elektroodikatete tüübiga.

Elektroodimetalli siirdumist keevisvanni saab kirjeldada järgmiste etappidena:

1. Algselt sulab keevituskaare soojuse toimetel elektroodivarda õhuke kiht.

2. Sulanud kiht omandab raskus- ja pindpinevusjõu toimele tilga kuju ning moodustub väiksema ristlõikega kael.
3. Kaela ristlõige aheneb, mille tõttu suureneb voolutihedus ja kaela pikenedes puudutab sulametallitilk keevisvanni ning lühistab kaarevahemiku.
4. Kaasneb järsk voolu tõus, mille tulemusena metallitilga kael puruneb ning metallitilk eraldub.
5. Järgmisel hetkel taastub keevituskaar uuesti.
6. Sulametallitilk liigub suure kiirendusega sulakeevisvanni, pritsides osa metalli sealt välja.

Kirjeldatud protsess on tüüpiline keevitamisel aluseliste elektroodidega, ülejäänud juhtudel ning teistel kaarkeevitusprotsessidel võivad olla metallitilkade siirdeprotsessid keerulisemad.

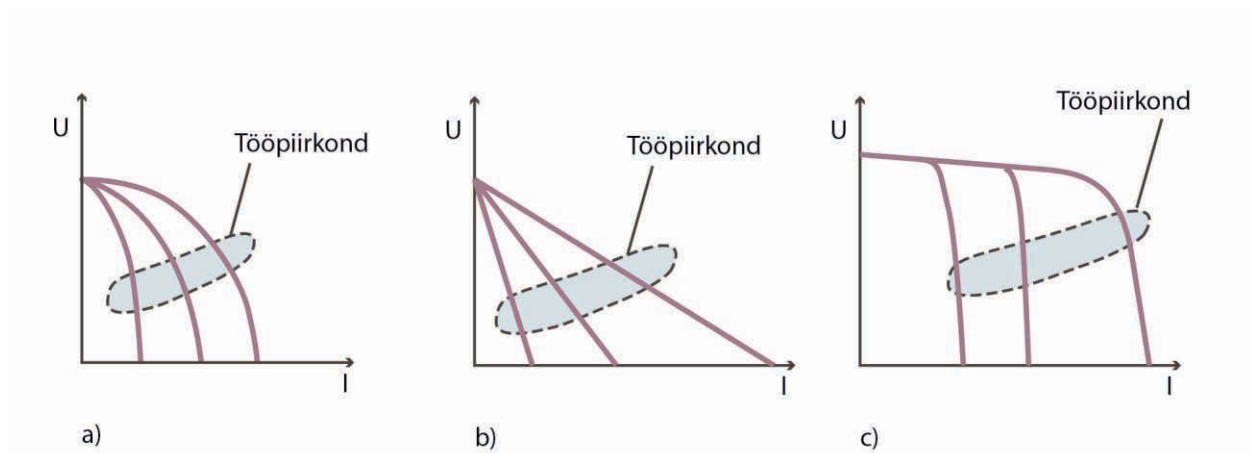
Metalli siirde iseloomu määrab põhiliselt elektroodi materjal, elektroodikatte tüüp, kaitsegaasi koostis, keevitusvoolu tihedus. Põhiliselt esineb kolm elektroodimetalli siirde tüüpi keevisvanni:

- jämetilksiire
- peentilksiire
- pihustussiire

#### **4.1.3 Käsikaarkeevituse vooluallikad**

Keevituskaare toiteks kasutatakse reeglina madalpingelist (15...40 V) ja suurt voolu (15...500 A) andvat erikonstruktsiooniga vooluallikat. Käsikaarkeevituse ehk elektroodkeevituse vooluallikalt nõutakse püsivvooluga, seega järsult langevat tunnusjoont.





**Joonis 4.5. Keevitusvooluallikate tunnusjooned: a – püsivvooluga järsult langev tunnusjoon, b – mitmekohalise toiteallika tunnusjoon, c – elektroonilise vooluallika (inverteri) tunnusjooned**

Kaarkeevitusel piiratakse ohutuse seisukohalt **tühijooksupinge**. Minimaalne tühijooksupinge on käsikaarkeevitusel piiratud keevituskaare süütamise tingimustega. Mitteohtlikes ruumides keevitades loetakse rahvusvaheliste normide järgi maksimaalseks tühijooksupingeks alalisvoolu korral 113...131 V, vahelduvvoolu korral 48...68 V.

Käsikaarkeevitusel kasutatavad vooluallikad võib liigitada:

- vahelduvvoolukeevituse toiteallikad
- alalisvoolutoitega keevitusmuundurid või keevitusalaldid

Vahelduvvooluga keevitamisel kasutatakse keevitustrafosid (vt joonis 4.6), mis on konstruktsioonilt lihtsad, töökindlad ega vaja erilist hooldust. Levinuim viis keevitusvoolu seadistamiseks on trafo mähise vahekauguse muutmine, aga ka teised meetodid. Keevitustrafoga kasutamisega kaasneb vooluvõrgu ebahütlane koormus. Vahelduvvoolu elektrikaar on ebapüsiv, selle vältimiseks lisatakse ahelasse keevitusvoolu ja pinge vahelise faasinihke tekitamiseks täiendav induktioonpool. Keevituskaare põlemise stabiliseerimiseks lisatakse keevituselektroodide katetesse leelis- ja alumiiniummetallide ühendeid.



**Joonis 4.6. Keevustrafa Nordika 3211, 55...160 A, võimsus 2,5 kW, elektroodi läbimõõt 2,0...4,0 mm**

Kaasaegsetes keevitusseadmetes kasutatakse põhiliselt alalisvoolu. Tüüpiline keevitusalaldi sisaldab trafot, alalduselemente või alaldit, keevitusvoolu reguleerimise seadet ning jahutamiseks ventilaatorit. Alaldid koormavad vooluvõrku ühtlasemalt kui trafod.



**Joonis 4.7. Keevitusalaldi, keevitusvoolu tugevus 15...400 A**

Välitingimustes, kui pole võimalik kasutada vooluvõrku, saab keevitamiseks kasutada keevitusgeneraatoreid ehk muundureid, mille ajamiseks on sisepõlemismootor (vt joonis 4.8).



**Joonis 4.8. Sisepõlemismootoriga keevitusgeneraator**

Kaasajal on kasutamist leidnud elektroonilised keevitusvooluallikad; tuntumad neist on keevitusinverterid. Türistor- ja transistorjuhtimisega keevitusinverterid eristuvad tavavooluallikatest heade dünaamiliste omaduste, väikese massi ja mitmete lisafunktsioonide poolest. Keevitusinverter on toodud joonisel 4.9.



**Joonis 4.9. Keevitusinverter, keevitusvool 8...150 A**

#### **4.1.4 Keevituselektroodid**

Käsikaarkeevitusel kasutatavad keevituselektroodid koosnevad terase keevitamisel vähese lisandite sisaldusega madalsüsinik- või kõrglegeerterasest valmistatud vardast ja elektrodikattest. **Keevituselektroodi läbimõõdu** all mõeldakse metallvarda läbimõõtu, mis standardsetel elektroodidel on 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0 ja 6,0 mm. Elektroodide pikkused on läbimõõtude 1,6...2,5 mm korral piires 200, 300 ja 350 mm, suurema läbimõõdu korral 350 või 450 mm.

Elektroodi pikkuse määrab varda voolujuhtivus, mis on näiteks roostevabade teraste puhul väiksem, seega elektroodid peavad olema lühemad. Keevituselektroodide läbimõõdud ja pikkused on toodud tabelis 4.1.

**Tabel 4.1. Käsikaarkeevituse elektroodide läbimõõdud ja pikkused**

Varda läbimõõt, mm:	Elektroodi pikkus, mm
1,6 2,0 2,5	200 ; 250 või 350
3,2 4,0 5,0	350 või 450
6,0 8,0	450

Käsikaarkeevitusel kasutatavate elektroodide põhiomadused on:

- kaare süüdatavus ja taassüüdatavus
- kaare stabiilsus
- vardametalli siirdemehhanism sulamisel
- pritsmete tekkimine ja nende hulk
- sula keevismetalli voolavus ning juhitavus, asendi omadused
- räbu iseloom, kaitseomadused, voolavus ja eemaldatavus
- õmbluse juure läbikeevitusvõime
- õmbluse kuju (kumer, nõgus), õmbluse kõrgus ja üleminek põhimetallile, õmbluse pinna tasasus

Elektroodikate sisaldab räbutekitajaid, desoksüdeerijaid, gaasitekitajaid, legeerelemente, elektri-kaare ioniseerimiseks vajalikke komponente ja sideaineid. Madallegeerteraste keevituselektroodidel viiakse põhilised legeerelemendid Ni, Cr ja Mo kattesesse, mistõttu õmblusmetalli legee-

rimine toimub katte kaudu. Tootlikkuse tõstmiseks viiakse kõrgtootlike elektroodide katesse suurel hulgal rauapulbrit.

Käsikaarkeevituse elektroode liigitatakse vastavalt kasutatavale voolutüübile: alalisvooluelektroodid ja vahelduvvooluelektroodid. Kaasaegsed keevituselektroodid võimaldavad keevitada mõlema voolutüübiga, mis on pakendil märgitud. Kasutusvaldkonna järgi liigitatakse keevituselektroode **keevitusliitmiselektroodideks, pealekeevituselektroodideks** (kõvapinded) ja **lõikeelektroodideks**.

Elektroodikatte paksuse järgi liigitatakse elektroode **paksu-** ja **õhukese**kattelisteks.

Elektroodikatte koostise ja omaduste järgi liigitatakse kattega elektroode **happelisteks (tähis A), rutiilseteks (R), tselluloosseteks (C), aluselisteks (B), paksrutiilseteks (RR), happelis-rutiilseteks (RA) ja aluselis-rutiilseteks (RB)**.

Elektroodikate on keevitusprotseduuri oluline tegur, millest sõltuvad keevisõmbluse struktuur ning mehaanilised omadused. Elektroodikate koosneb 10–15 komponendist.

Happelise kattega ehk happelised elektroodid (tähis A) sisaldavad happelisi Mn, Si ja Fe oksiide ning ferromangaani. Oksiidide lagunemisel suhteliselt madalal temperatuuril eraldub hapnik, mis vähendab sula keevisvanni pindpinevust ja suurendab selles oleva metalli voolavust. Keevismetalli väikese pindpinevuse tõttu esineb peentilksiire, millega kaasnevad keevitusvoolu ja kaarepinge väikesed muutused. Seepärast on keevituskaare võimsus suur ja elektroode nimetatakse „kuumalt“ keevitavateks. Saavutatakse suur läbisulatus ja keevituskiirus. Liikuva sulakeevismetalli ja rikkalikult moodustuva räbu tõttu on raske keevitada erinevates ruumiasendites ning seepärast keevitatakse põhiliselt allasendis. Tardunud räbu kõrge aktiivsuse tõttu ei ole alati vajalik õmbluse servade puhastamine õlist, tagist ja niiskusest. Keevitamisel eralduvad Mn aurud on mürgised. Selliste elektroodide asemel püütakse kasutada rutiilkattega elektroode.

Tsellulooskattega elektroodid (C) sisaldavad kattes palju orgaanilisi gaasi tekitavaid aineid (tselluloos), mistõttu keevitamisel eraldub palju vähemürgist keevitussuitsu. Protsessi iseloomustab keevituskaare suur võimsus ja hea läbikeevitusvõime. Räbu jahtub suhteliselt kiiresti ning

seepärast sobivad antud elektroodid suure vooluga asendkeevituseks, näiteks torujuhtmete keevitamiseks ülalt alla. Keevismetalli mehaanilised omadused ei ole kõrged.

Rutiilkattega ehk rutiilelektroodide (R) elektroodikate sisaldab suurel hulgal titaaniühendeid, nt utiili  $TiO_2$ , millel on hea elektrijuhtivus. Seetõttu on kerge elektrikaart süüdata ja taassüüdata. Elektroodivarda metalli siire keevisvanni toimub suurte tilkadena. Nimetatud elektroodidega on lihtne keevitada, keevituskaar on püsiv, eraldub vähe keevituspritsmeid, keevisõmbluse pind on sile ning räbu kergesti eemaldatav.

Õhukese kattega elektroodid (kate R) sobivad hästi asendkeevitamiseks. Paksukatteliste (RR) elektroodide kate sisaldab suurel hulgal rauapulbrit, tekib palju rasketijuhtivat räbu ja seepärast eelistatakse seda kasutada keevitamiseks allasendis.

Avatud elektroodipakis võivad elektroodid imada niiskust ning siis tuleb neid enne kasutamist umbes kaks tundi kuivatada kuivatuskapis temperatuuril  $80...100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Keevismetall sisaldab palju vesinikku ja hapnikku, mistõttu keevisõmbluse löögisitkus on madal ning elektroode ei soovitata kasutada terastele voolavuspiiriga üle  $350\text{ N/mm}^2$ . Keevitamiseks võib kasutada nii vahelduv- kui ka alalisvoolu. Rutiilkatet kasutatakse laialdaselt roostevabateraste keevituselektroodide valmistamiseks.

Aluselis-rutiilkate (RB) sisaldab aluselisi koostisaineid, mis parandavad õmbluse löögisitkust.

Happelis-rutiilkate (RA) ja tselluloos-rutiilkattega elektroodid (RC) ühendavad endas mõlema katte positiivseid omadusi.

Aluselise kattega ehk aluseliste elektroodide (B) kate koosneb põhiliselt kaltsiumkarbonaadist ( $CaCO_3$ ) ja kaltsiumfluoriidist ( $CaF_2$ ). Rübusti komponent  $CaCO_3$  tagab elektrikaarele hea gaasikaitse. Aluselise rübusti desoksüdeerivad omadused on head ja keevismetall on lisanditest puhas.

Aluselise kattega elektroodide elektrikaare ionisatsiooniomadused on madalad ning seepärast tuleb keevitada vastupolaarse alalisvooluga. Elektrikaare paremaks süütamiseks lisatakse sageli kattesse tsirkoonium- ja titaanioksiide. Vahelduvvooluga keevitamiseks valmistatakse kahekihilise kattega elektroode, mille väliskihis asetsevad fluoriühendid ei halvenda kaare ioniseerimist ja põlemist. Elektroodi metall siirdub keevisvanni jämedate tilkadena, mis lühistavad kaarevahemi-

ku, mistõttu väheneb kaare võimsus ning energiavoog õmblusesse ja seepärast nimetatakse antud elektroode „külmalt” keevitavateks. Keevismetall sisaldab vähe hapnikku ning seepärast on keevismetalli suurema pindpinevuse tõttu pindõmblused kumeramad. Antud elektroodid sobivad paremini asendkeevituseks, osalt ka püstkeevituseks ülalt alla.

Keevituskaare pikenedes üle 2 mm kasvab õmblusmetalli N<sub>2</sub> sisaldus ja õmblusmetallis võivad tekkida poorid. Lisaks on sulakeevismetall suurema viskoossusega ja halvema voolavusega (madal O<sub>2</sub> sisaldus, mistõttu gaasid ei pääse sulast keevismetallist välja). Valede keevitusvõtete korral võivad tekkida alustuspoorid, kui detaili pind on veel külm ja keevismetall jahtub nii kiiresti, et gaasid ei jõua tõusta keevisõmbluse pinnale.

Aluseliste elektroodide puuduseks on ka suur niiskuseimavus, mis suurendab õmblusmetalli vesinikusisaldust, külmpragude ohtu, keevituspritsmete ja pooride teket. Elektroodide niiskumise kahtluse korral, samuti ka madallegeerteraste ja karastuvate teraste keevitamisel tuleb elektroode kuivatada temperatuuri 350 °C ± 25 °C juures 2...3 tundi. Pakist välja võetud elektroode tuleb hoida kuivatuskapis temperatuuril 150 °C ± 25 °C kuni 3 kuud ja keevitaja töökohal enne keevitamist hoida soojendusega konteinerites temperatuuridel 70...120 °C kuni 4 tundi.

#### **4.1.5 Keevituselektroodide liigitus ja tähistus**

Terase keevituselektroodid liigitatakse euronormide põhjal nelja rühma: EN 2560 (EN 499) – legeerimata ja madallegeerterastele; EN 757 – kõrgtugevatele terastele; EN 1599 – kuumustugevatele terastele; EN 1600 – roostevabadele ja kuumuspüsivatele terastele [4.2].

Keevituselektroodide tähistamiseks kasutatakse standardile vastavat markeeringut, mis tuuakse ära pakendil, ning selleks on:

- valmistajatehase nimetus ja kaubamärk
- vooluliik ja soovitatav keevitusvoolu vahemik
- elektroodi läbimõõt ja pikkus
- elektroodide arv ja mass
- kasutuskõlblikkuse aeg ja kasutustingimused

- eelneva kuivatuse tingimused

Keevituselektroodide liigituse aluseks on järgmised tunnused:

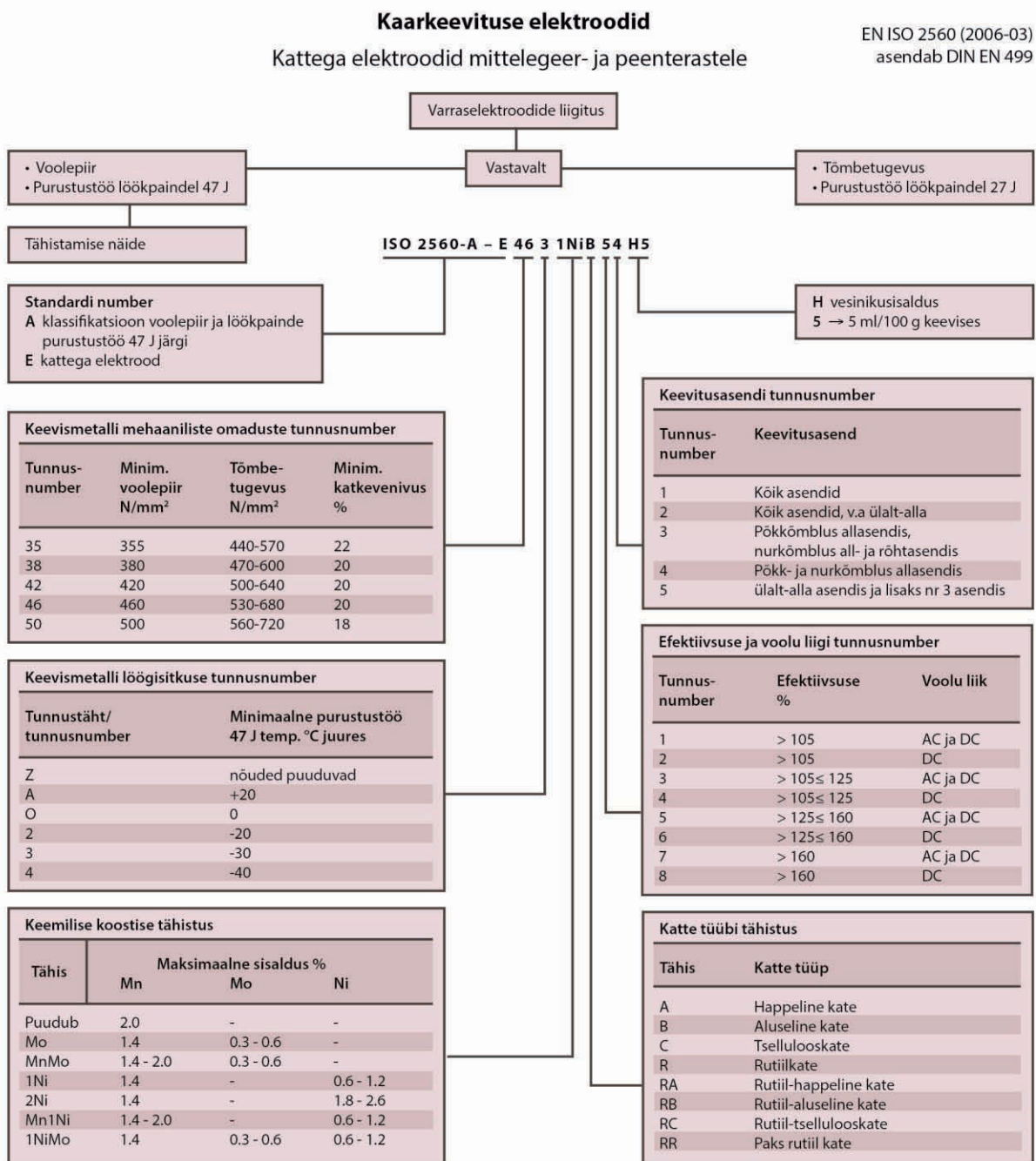
- elektroodivarda materjal
- keevitav metall
- elektroodikatte paksus
- elektroodivarda ja -katte keemiline koostis
- elektroodikatte sulamisel tekkiv räbu
- keevisõmbluse mehaanilised omadused

Käsikaarkeevituse elektroodide rahvusvahelise klassifikatsiooni järgi liigitatakse neid järgmiste tunnuste alusel, mis tuuakse ära ka standardile vastavas markeeringus (vt tabel 4.2):

- õmblusmetalli mehaanilised omadused
- elektroodikatte tüüp
- keevisõmbluse asend ruumis
- keevitusvoolu tüüp ja polaarsus



Tabel 4.2. Elektroodide tähistus EVS ISO 2560A järgi [6]



⇒ **ISO 2560-A - E 42 2 RB 12:** Varraselektood garanteeritud voolepiiri ja purustustööga, 42 voolepiir  $R_e = 420 \text{ N/mm}^2$ , 2 purustustöö 47 J temp  $-20^\circ\text{C}$ , RB rutiil-aluseline kate, 1 efektiivsus  $> 105\%$ , 2 kõik keevitusõmbblused v.a püstõmbblused ülalt-alla

Keevituselektroodi margi valik sõltub keevitatava materjali margist, materjali paksusest, toote jäikusest, välistemperatuurist keevitamise ajal, keevitusasendist ruumis ning keevisiidete eksploatatsioonitingimustest.

Ehituskonstruksioonide keevitamiseks terasest paksusega kuni 6 mm sobivad elektroodid klassifikatsiooniga E 42 0 RC-11. Saab kasutada nii vahelduvvoolu kui ka alalisvoolu ja keevitada kõigis ruumiasendites.

Elektrood E 42 2 RB 12 sobib ehituskonstruksioonide ja torustike keevitamiseks. Aluselise komponendi lisamine suurendab räbu vedelvoolavust ja paraneb keevitusvanni jälgitavus. Elektroodid klassifikatsiooniga E42 2 B 74 ja E 38 0 RR 54 on kõrgtootlikud elektroodid keevismetalli väljatulekuga kuni 240%, st keevismetall koosneb 100% elektroodivarda metallist ja 140% kattes olevast metallipulbrist. Sobib pikkade ehituskonstruksioonide nurkõmbluste keevitamiseks.

Elektrood klassifikatsiooniga E 42 2 C 25 leiab kasutamist torustike keevitamisel asendis ülalt alla ehk PG. Eraldub palju keevitussuitsu ja tekib palju pritsmeid. Kasutatakse vastupolaarsusega alalisvoolu, mitme läbimiga õmbluste korral juurelähimi keevitamisel päripolaarset voolu.

Elektroodi läbimõõt valitakse materjali paksuse, õmbluse servakuju ja õmbluse ruumilise asendi järgi. Asendiõmblused tehakse peenemate elektroodidega (alla 4 mm). Nurkõmbluste keevitamisel valitakse elektroodi läbimõõt õmbluse kaateti ja asendi järgi. Madalsüsinikteraste keevitus-elektroodide läbimõõt 3...4 mm paksuse lehe korral olgu kindlasti viimasega võrdne.

Keevitusvoolu tugevus sõltub elektroodi läbimõõdust, põhimetalli paksusest ja servavahemiku kujust, **keevituslähimitest** (juure- või täitvad läbimid), elektroodi tüübist, keevitusasendist, põhimetalli soojusjuhtivusest.

Maksimaalne keevitusvool on piiratud antud elektrooditüübile lubatud maksimaalse voolutihedusega. Minimaalne keevitusvool on piiratud kaare süütamise ja keevituskaare normaalse põlemise tingimustega. Suurim lubatud keevitusvool on paksukattelistel elektroodidel ja kasvab efektiivsuse suurenedes. Praktikas hinnatakse keevitusvoolu tugevust järgnevalt: kui elektrood kipub kinni jääma, on vool väike; kui õmbluse kõrval tekib soon sisselõikena, on keevitusvool liiga suur. Seadistatakse keevitusvool vahepealsele väärtusele.

Keevitusvoolu ligikaudseks määramiseks kasutatakse järgmisi valemeid (kus  $I_k$  – keevitusvool amprites ja  $d_{el}$  – keevituselektroodi läbimõõt millimeetrites):

$$I_k = 60 (d_{el}-1)$$

$$I_k = 6d_{el}^2 + 20d_{el}$$

$$I_k = 40d_{el} \text{ (aluseline elektrood, süsinikteras)}$$

$$I_k = 30d_{el} \text{ (rutiilelektrood, roostevaba teras)}$$

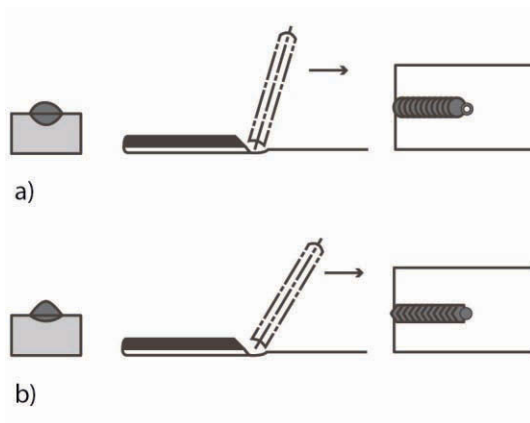
Püstõmbluste keevitamisel tuleb keevitusvoolu vähendada 15%, laeõmbluste korral 10%.

Keevituskare pinget keevitamisel ei reguleerita ning see sõltub keevituskare pikkusest, keevitusvoolust ja elektroodikatte tüübist ning on standardtingimustel määratav valemiga (kus  $U_k$  on kaarepinge):

$$U_k = 20 + 0,04 I_k$$

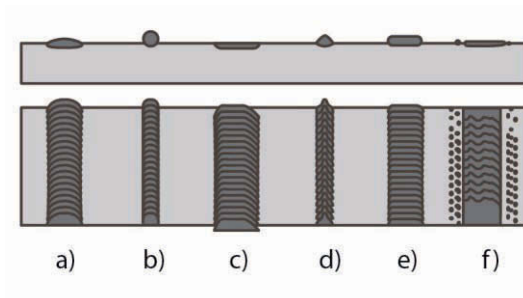
#### 4.1.6 Keevitustehnika

Keevitamisel kallutatakse elektroodi selle liikumissuunas nii palju, et sula keevismetall ja räbu püsiksid keevituskohas ega pääseks keevituselektroodi ette. Allasendis keevitades on elektroodi kaldenurk ning keevituskiirus õige, kui keevisõmbelse kuju on ümar. Kui keevituskiirus või kallutusnurk on liiga suur, siis muutub keevisõmbelse kuju kolmnurkseks (vt joonis 4.10).



**Joonis 4.10. a – õigesti valitud elektroodi liikumiskiirus ja kallutusnurk; b – liiga suur elektroodi liikumiskiirus ja kallutusnurk [4]**

Käsikaarkeevitusel esinevaid vigu iseloomustab joonis 4.11, kus a – kvaliteetne keevisõmbelus (õigesti valitud keevituskiirus, keevitusvool ning elektroodi kallutusnurk); b – liiga väike keevitusvool; c – liiga suur keevitusvool; d – liiga suur keevituskiirus; e – liiga väike keevituskiirus; f – liiga suur kaarevahemik ning palju keevituspritsmeid.



**Joonis 4.11. Keevitusvoolu, keevituskiiruse ja keevituskaare pikkuse mõju keevisõmbluse kujule: a – kvaliteetne keevisõmblus; b – liiga väike keevitusvool; c – liiga suur keevitusvool; d – liiga suur keevituskiirus; e – liiga väike keevituskiirus; f – liiga pikk keevituskaar [4]**

Keevisliite lõpetamiseks või elektroodi vahetamiseks tuleb keevitamine lõpetada. Selleks on vaja peatuda ja liikuda keevisõmbluse kohalt veidi tagasi ning elektroodi eemaldamisega kustutatakse keevituskaar.

### **Kontrollküsimused**

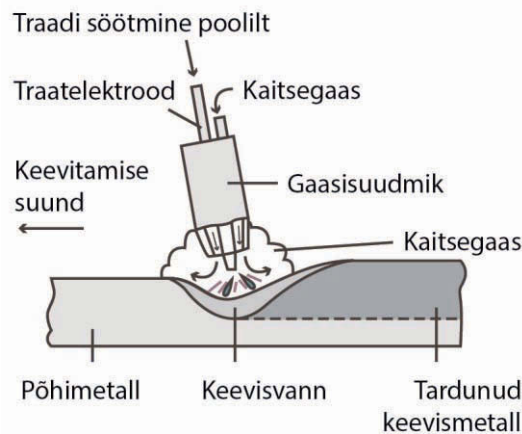
1. Mis on keevituskaar ja kuidas see tekib?
2. Kui kõrge on kaarleegi temperatuur?
3. Miks kasutatakse elektroodikatet?
4. Millised on käsikaarkeevituse eelised?
5. Millised on käsikaarkeevituse puudused?
6. Mis on keevitusvoolu polaarsus ja mida see mõjutab?
7. Mis on magnetpuhumine ning mida see mõjutab?
8. Milliseid vooluallikaid kasutatakse käsikaarkeevitusel?
9. Kui suur pinget on lubatud kasutada käsikaarkeevitusel?
10. Mis ülesannet täidab elektroodikate?
11. Kuidas liigitatakse elektroode katete tüübi järgi?
12. Millised on kattega elektroodi põhiomadused?
13. Millised andmed antakse standardile vastavas elektroodimarkeerings?

14. Kuidas arvutatakse keevituselektroodi läbimõõdule vastav keevitusvool?
15. Kuidas mõjutab keevituskiirus keevisõmbluse kuju?

## 4.2 MIG/MAG-keevitus

### 4.2.1 MIG/MAG-keevituse olemus ja liigitus

Kaarkeevitusprotsesside tootlikkust on võimalik tõsta, kasutades elektroodi traadi kujul ja söötes seda pidevalt kaare piirkonda. Keevituskaart ja keevisvanni saab kaitsta ümbritseva keskkonna eest sinna juhitava kaitsegaasiga. Sellist kaarkeevitusprotsesside rühma nimetatakse **kaitsegaaskaarkeevituseks**. Sõltuvalt kasutatavast kaitsegaasist ja keevitustraadist eristatakse ja kasutatakse järgmist rahvusvahelist tähistust: a) MIG-keevitus, b) MAG-keevitus, c) täidistraatkeevitus. Need keevitusviisid on tuntud kui traatkeevitus, kuna kasutatakse keevituselektroodi traadi kujul. Samuti kasutatakse üldnimetust “poolautomaatkeevitus”, kuna traadi pealeandmine on automatiseeritud, kuid liikumine piki keevisõmblust toimub keevitaja käe abil. Kaitsegaaskaarkeevituse põhimõtet selgitab joonis 4.12



#### Joonis 4.12. MIG/MAG-keevitus

Poolile keritud keevitustraad läbimõõduga 0,6...2,4 mm söödetakse automaatselt ühesuguse kiirusega etteanderullide abil keevituspõletisse, mida kutsutakse selle erilise kuju tõttu keevituspüstoliks. Keevitamisel sulatatakse traadist elektroodi ots ja liidetavate detailide servad kaarleegiga, mida kutsutakse keevituskaareks. Keevituskaare temperatuur võib ulatuda 5000-7000

kraadini, elektroodil 2600-3900 kraadini. Kaare piirkonda antakse pidevalt ette elektroodi traadi kujul. Keevitusvooluna kasutatakse vastupolaarset (DC<sup>+</sup>) alalisvoolu, kus elektrood ühendatakse vooluallika + klemmiga. Keevitusvool antakse energiakadude vähendamiseks keevitustraadile keevituspüstolisse kinnitatud voolukontakti abil vahetult enne keevituskaart.

**MIG-keevitus** toimub täistraadiga inertgaasikeskkonnas ja seda tähistatakse tunnusnumbriga **131**. Kasutatakse alumiiniumi keevitamiseks.

**MAG-keevitus** toimub täistraadiga aktiiv-kaitsegaasis, kas süsihappegaasis või segugaasis „argoon-süsihappegaas”. Klassikalist keevitusprotsessi tähistatakse tunnusnumbriga **135**. Keevitatakse süsinik- ja legerteraseid, sealhulgas roostevaba terast. Kuna mõlemad keevitusprotsessid erinevad vähe ja kasutatakse ühtesid ja samu seadmeid, siis kasutatakse sageli lühendit MIG/MAG-keevitus.

**Täidistraatkeevitus** on MAG-keevituse edasiarendus, kus kasutatakse torukujulist täidistraati. Sõltuvalt kasutatavast täidistraadi tüübist tähistatakse seda keevitusviisi tunnusnumbritega **136** (räbu tekitava täidistraadiga) või **138** (metallipulbritest täidisega). Keevitusprotsess on kombinatsioon käsikaarkeevitusest (pulbrikujuline täidis toru sees) ja MIG/MAG-keevitusest (painduv torukujuline traatelektrood, kaitsegaasi kasutamine). Täidistraadi südamikust välja voolav räbu kaitseb täiendavalt keevisvanni ja tuleb pärast tardumist keevisõmbluse pinnalt eemaldada. Metalltäidistraatidega keevitamisel räbu peaaegu ei teki. Levinuim on keevitamine kaitsegaasis, süsinikteraste korral süsihappegaasis ja roostevaba terase korral segugaasis “argoon-süsihappegaas”. Keevitamine ilma kaitsegaasita leiab piiratud kasutamist keevisõmbluse madalate mehaaniliste omaduste ja keevitamisel eralduvate mürgiste ühendite tõttu. Täidistraatkeevitust iseloomustab suurem pealekeevituskiirus, keevituskiirus ja liite servade kokkusulamatuse defekti puudumine. Leiab kasutamist laevaehituses jm, kuid laiemat tarvitamist piirab täistraadiga võrreldes kõrgem hind.

MIG/MAG-seadet saab kasutada teraspleki jootmiseks. Kasutatakse pronkstraati ja kaare võimsus on väiksem. Seejuures kaar ei sulata detailide servi, kuid liitepindu kattev sulajoodis ühendab viimased tugevaks liiteks. Seda liitmisprotsessi nimetatakse **jootkeevituseks**.

MIG/MAG-keevitusprotsesse ja -seadmeid saab liigitada väga erinevate tunnuste järgi.

Liigitus konstruktsiooni järgi:

- sisseehitatud traadi etteandemehhanismiga poolautomaadid,
- vooluallikast eraldi asetseva ja ümberpaigaldatava traadi etteandeseadmega poolautomaadid,
- keevituspüstolile ehk põletile kinnituva täiendava traadi etteandemehhanismiga poolautomaadid alumiiniumi keevitamiseks.

Kasutatava vooluallika järgi liigitatakse keevitusseadmed:

- tavavooluallikaga ehk trafoga poolautomaadid,
- invertervooluallikaga poolautomaadid.

Kasutatava keevitusvoolu järgi liigitatakse poolautomaadid:

- alalisvooluga keevitusseadmed,
- impulssvooluga keevitusseadmed,
- tarkvaraga juhitud impulssvooluga keevitusseadmed,
- muudetava polaarsusega alalisvooluga seadmed.

Juhtimissüsteemi järgi liigitatakse poolautomaadid:

- tavajuhtimisega seadmed kahe juhtimisnupuga,
- sünergilise juhtimisega seadmed ühe juhtimisnupuga,
- sünergilise ja adaptiivse juhtimisega seadmed.

Võrreldes käsikaarkeevitusega on MIG/MAG keevitusel järgmised eelised:

- suurem tootlikkus, pealesulatustegur ehk keevitustootlikkus on piirides 1,2-7 kg/h, tingituna suurest voolutihedusest elektroodil,
- suurem keevituskiirus, cm/min,
- lühikaarega võimalik keevitada kõigis keevisõmbeluse asendites,

- puuduvad elektroodi vahetamisest tingitud katkestused, mistõttu õmbluste kvaliteet on parem,
- lihtsam mehhaniseerida ja automatiseerida keevitusrobotite ja väikemehhaniseerimis-seadmete abil,
- keevitamisel ei teki räbu (va täidistraadi kasutamisel),
- keevitaja näeb keevitamise ajal õmblust ja keevitusvanni,
- keevituskaar on soojuslikult kontsentreeritud, mistõttu termomõjutsoon on kuni 2 korda kitsam ning struktuurimuutused ja deformatsioonid põhimetallis on väiksemad,
- lühike keevitaja väljaõppeaeg.

MIG/MAG-keevituse puudused:

- ei sobi kasutamiseks välitingimustes,
- keevitustraatide valik tundubalt väiksem käsikaarkeevituse elektroodide omast,
- lühikaarkeevitusel ja keevitusparameetrite vääral valikul võib esineda palju pritsmeid (kuni 7-10 % traadi massist).

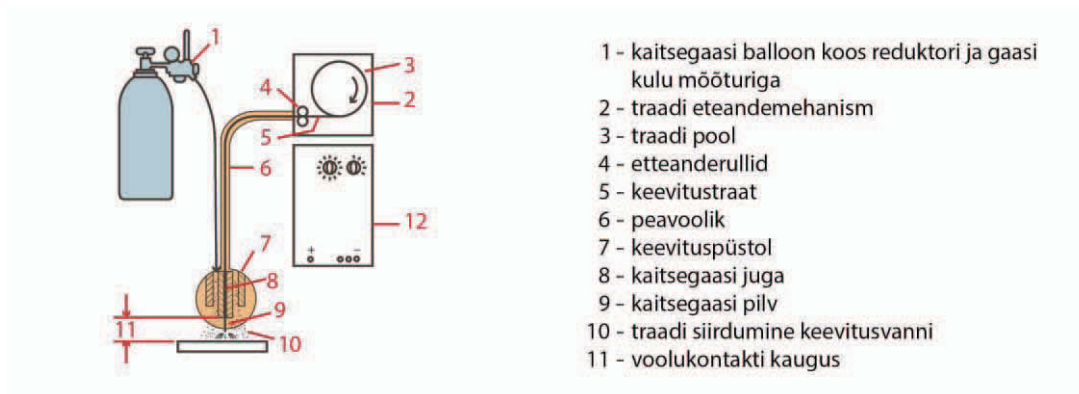
Seda keevitusprotsessi kasutatakse järgmiste metallide puhul: mittelegeer-, madallegeer- ja kõrgleegerterased, alumiiniumi-, vase- ja niklisulamid. Sõltuvalt keevitatavast materjalist valitakse kaitsegaasi liik.

Keevitada saab väga suures lehtmaterjali paksuste vahemikus. Minimaalseks loetakse tavaseadmetel umbes 0,6 mm paksust terast, invertervooluallikatel 0,3 mm ja ülemist piiri õigupoolest pole. Paksema terasplaadi keevitamiseks sobib kõige paremini keevitamine täidistraadiga.

#### **4.2.2 Keevituse poolautomaadi ehitus**

Poolautomaadi põhiosad ja protsessi skeem on näidatud joonisel 4.13.





**Joonis 4.13. MAG-seadme põhiosad: 1 – kaitsegaasi balloon koos reduktori ja gaasikulu-mõõturiga; 2 – traadi etteandemehhanism; 3 – traadi pool; 4 – etteanderullid; 5 – keevitustraati; 6 – peavoolik; 7 – keevituspüstol; 8 – kaitsegaasijuga; 9 – kaitsegaasipilv; 10 – traadi siirdumine keevitusvanni; 11 – voolukontakti kaugus.**

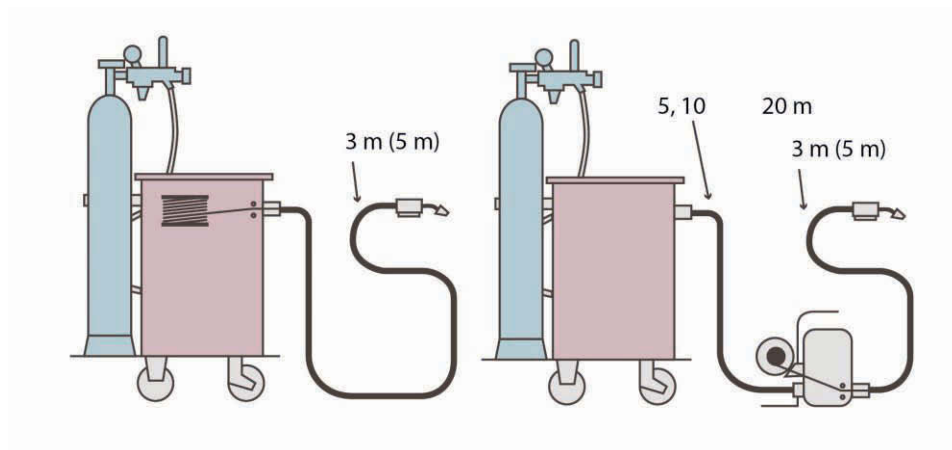
MAG-seadme põhiosad on:

- vooluallikas,
- traadi etteandemehhanism,
- gaasiseadmed,
- keevituspüstol koos peavoolikuga,
- juhtseadmed.

MIG/MAG-seadmed võivad olla väga erineva konstruktsiooniga:

- vooluallikaga ühes korpuses oleva traadietteandemehhanismiga,
- vooluallika peal asetseva traadietteandemehhanismiga,
- traadietteandmise vahejaamaga.

Mõnede poolautomaatide konstruktiivsed lahendused on toodud joonisel 4.14.



**Joonis 4.14. Poolautomaatide konstruktsioone**

### **Vooluallikas**

Keevitamiseks kasutatakse vastupolaarset alalisvoolu, mis võimaldab saada stabiilsema ja pritsmeteta keevituskaare. Nüüdisaegsetes seadmetes kasutatakse sageli impulssvoolu.

MAG-keevitusel kasutatakse nn jäiga tunnusjoonega vooluallikaid, kus kaarepinge langeb vähe (2-7 V) keevitusvoolu kasvades 100 A võrra. Jäik tunnusjoon võimaldab keevituskaare pikkuse isereguleeruvust keevituspüstoli kauguse muutmisel.

Tavavooluallikates kasutatakse trafot ja alalduselementidena sageli diode või türistore. Kaarepinget reguleeritakse astmeliselt, muutes trafo primaarmähise keerdude arvu lüliti abil. Maandusahelasse on lülitatud voolu pulseerimist vähendav paispool ehk drossel, mille väljaviigud on sageli välja toodud maanduskaabli pistikupesadena poolautomaadi esipaneelil. Eeliseks on konstruktsiooni lihtsus, töökindlus ja kõrge kasutegur. Puudusteks on pinge astmelise reguleerimise vajadus, millega kaasneb lüliti kontaktide kulumine, tundlikkus võrgupinge kõikumiste suhtes ja kaugjuhtimisvõimaluse puudumine.

Invertervooluallikates võrguvool alaldatakse, muudetakse 20-60 kHz nelinurkimpulssvooluks ja ferriitsüdamikuga trafo abil saadakse vajalik keevitusvool. Keevitusinverteereid nimetatakse ka digitaalseteks vooluallikateks. Elektroonselt on võimalik kontrollida keevitusparameetreid ja hoida neid püsival väärtusel, kompenseerides nii keevitaja käe liikumisest tekkinud keevituskaare muutusi. Lisafunktsioonide abil on võimalik kontrollida voolu tõusu ja languse kiirust, keevitada

täis lõpukraater, vältida traadi külgekleepumist detailidele, keevituskaare võimsust jm. Väljund-ahela induktiivsust juhitakse reaktori abil astmeteta.

### **Traadi etteandemehhanism**

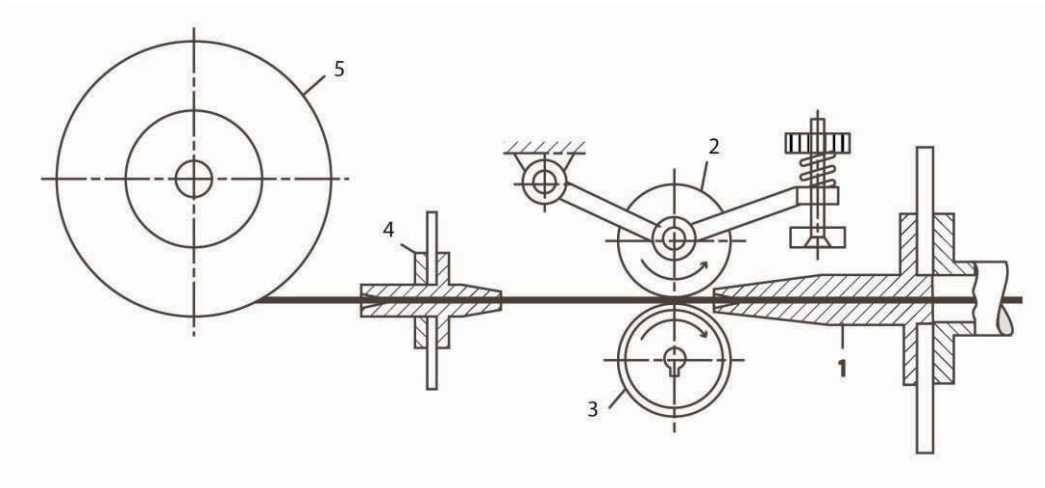
Keevitustööde kvaliteet ja protsessi stabiilsus on määratud traadi etteandekiiruse püsivusega etteantud reguleerimisel. Kaasaegsed poolautomaadid võimaldavad keevitada katkendõmblusi, kusjuures on tagatud ajami head dünaamilised omadused.

Traadi etteandmine (joonis 4.15) algab piduriga varustatud või kassetalusele kinnitatud traadi pooli (5) mahakerimisest ja etteandmisest läbi juhttoru (4) traadi etteandemehhanismi rullide (2 ja 3) abil läbi peavooliku (1) keevituspüstolisse. Traadi etteandemehhanismi koosseisu kuulub ka juhtpuks traadi juhtimiseks peavoolikusse ja vahetatav traadi juhtkanal.

Terase keevitamise nn tõukava skeemi korral keritakse traat poolilt ja lükatakse etteanderullide abil traadi kanalisse. Pehme keevitustraadi, nt alumiiniumi korral kasutatakse nn tõukav-vedavat skeemi. Üldjuhul kasutatakse keevituspüstolisse sisse ehitatud ajamiga vedavat etteandemehhanismi koos vooluallikaga kokku ehitatud lükkava mehhanismiga. Traadi vahejaamaga etteandmist kasutatakse juhtudel, kui tuleb keevitada pikki õmblusi kaugel vooluallikast (nt laevaehituses).

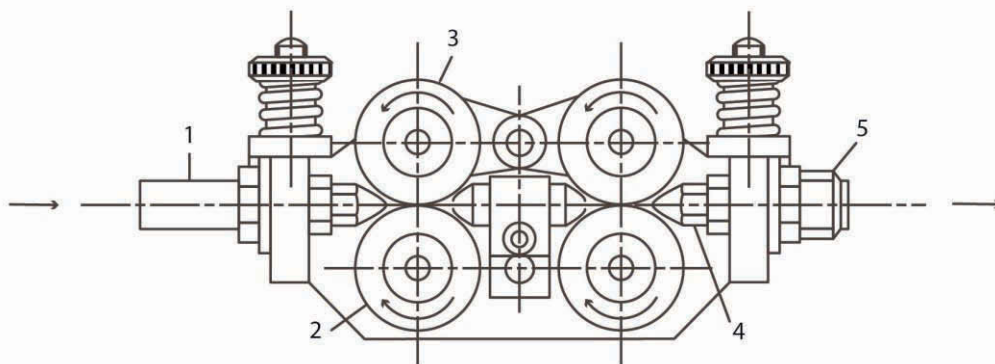
Enamlevinud traadietteandemehhanismid jagunevad etteanderullide arvu ja tööpõhimõtte järgi:

- ühe rullipaariga ehk kahe rulliga, üks on ajamiga vedav rull, teine ainult surverull,
- ühe rullipaariga, mõlemad neist vedavad; surverull on hammasrattaga seotud vedava rulliga,
- kahe rullipaariga ehk nelja rulliga, kus mõlemal on oma ajam, surverullid on hammasrattastega seotud ajamrullidega.



**Joonis 4.15. Kahe etteanderulliga mehhanism**

Esimest lahendust kasutatakse väikestes seadmetes, teist lahendust keskmise võimalusega seadmetes, kahe rullpaariga lahendust suure võimsusega rasketööstusseadmetes. Terastel on soon kolmnurkne, alumiiniumisulamite ja täidistraadi korral ümar. Täidistraadi etteandmiseks kasutatakse rihveldatud soontega rulle ja tavaliselt neljarullilist mehhanismi.



**Joonis 4.16. Nelja etteanderulliga mehhanism**

Teatud juhtudel võib olla vooluallika peale monteeritud kaks traadi etteandeseadet. Üks neist võib olla varustatud täis- ja teine täidistraadiga, roostevaba või süsinikterasest traadiga. Üheaegselt saab kasutada ainult ühte seadet. Kui teisaldatava traadi etteandeseadme korpus on elektriliselt isoleeritud, siis võib ta elektriohutuse nõudeid rahuldades paigutada reservuaaride, laevakerede jm sisse.

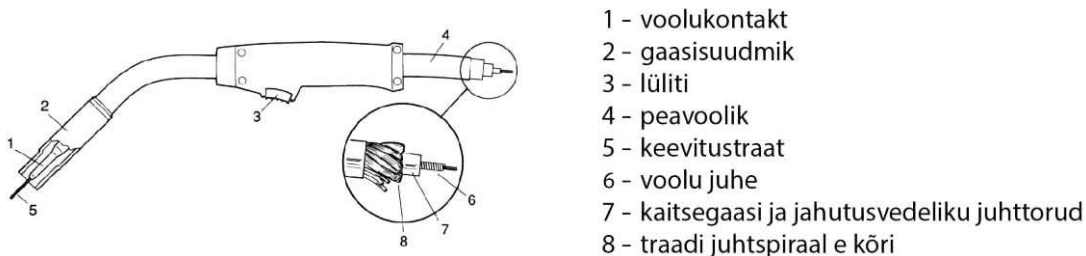
## Keevituspüstol

Keevitustraadi juhtimiseks etteanderullidelt keevituspüstolisse, aga samuti kaitsegaasi, keevitusvoolu, jahutusvedeliku andmiseks keevituspüstolisse kasutatakse seadme esipaneelile või traadi etteandeseadme esipaneelile ühendatavat peavoolikut, mida nimetatakse ka voolikute paketi. Peavoolik kujutab endast traadi juhtkõrist, voolujuhtmest, gaasi ja jahutusvedeliku kanalitest koosnevat paketti, mida liidab kokku ja ümbritseb jämedam kummivoolikust ümbri. Peavooliku kõige vastustusrikkam osa on traadi juhtkõri, mis võib olla valmistatud terasspiraalist või teflonist. Juhtkõri peab olema õige läbimõõduga, puhas ja töökorras.

Juhtkõri läbimõõt sõltub peamiselt traadi läbimõõdust, kuid ka teistest teguritest. Ligikaudselt valitakse juhtkõri **siseläbimõõduks 1,5 traadi läbimõõtu**. Keevitustraadi kõrisid tuleb vahetada erineva läbimõõduga keevitustraadi kasutamisel, samuti traadi etteandehäirete korral. Keevitaja hoiab käes keevituspüstolit ehk keevituspõletit (joonis 4.17) ja liigub sellega piki keevisõmblust.

Keevituspüstolis oleva voolukontakti abil antakse traadile keevitusvool ja suudmiku abil juhitaakse keevituskaare piirkond kaitsegaasi. Keevituspüstoleid võib liigitada järgmiste tunnuste alusel:

- painutatud kujuga, käsitsi keevitamiseks,
- sirged, robotkeevitamiseks,
- gaasjahutusega,
- vedelikjahutusega keevitusvooludel üle 250-300 A,
- keevitussuitsuimuriga kokku ehitatud.



**Joonis 4.17. Keevituspüstoli ehitus: 1 – voolukontakt, 2 – gaasisuudmik, 3 – lüliti, 4 – peavoolik, 5 – keevitustraad, 6 – voolujuhe, 7 – kaitsegaasi ja jahutusvedeliku juhttorud, 8 – traadi juhtspiraal ehk kõri "**

Keevituspüstol on varustatud päästik-tüüpi lülitiga. Keerulisemad keevituspüstolid on varustatud potentsiomeetriga keevitusvoolu muutmiseks.

### **Voolukontakt**

Keevituspüstoli kuluva osaks on **voolukontakt** ehk traadi düüs, mille kaudu antakse traadile keevitusvool. Puksikujuline voolukontakt valmistatakse kas vasest Cu sulamitest Cu-P, CuZr, CuCrZr. Voolukontakti läbimõõt on 0,2–0,5 mm suurem traadi omast. Tööstuslikele voolukontaktidele märgitakse numbritega ava läbimõõt, nt traadile  $\varphi = 1,2$  sobivale voolukontaktile numbritega 1.2 või 12.

### **Gaasisuudmik**

Keevituspüstoli otsa kinnitub plekist gaasisuudmik või gaasidüüs, mille ülesandeks on kaitsegaasi juhtimine keevituskaare piirkonda. Gaasisuudmikke valmistatakse erineva läbimõõduga ja koonilise või silindrilise kujuga. Töö käigus põleb gaasisuudmik ära ja vajab väljavahetamist. Suudmiku sisepinnal ei tohi olla pritsmeid, et vältida kaitsegaasi pööriseid. Vähemalt kord päevas tuleb gaasidüüsi kaabitsaga pritsmetest puhastada. Pritsmete külgekleepumise vältimiseks võib gaasisuudmiku sisepinnale kanda kas vastavat aerosooli või pastat.

### **Gaasiseadmed**

Kaitsegaas tarnitakse töökohale kas tsentraalse torustiku kaudu 4-6 baarise rõhu all või balloonis 200-baarise (200 atm) surve all. Gaasi rõhu alandamiseks ja püsivana hoidmiseks kasutatakse ballooni külge kinnitatavat gaasireduktorit. Reguleerides gaasireduktori ventiili, muutub kaitsegaasi vool, mida mõõdetakse ühikutes liiter/minutis. Reduktoril on tavaliselt kaks mõõdikut. Esimene manomeeter näitab survet balloonis, teine, nn kella tüüpi kulumõõtur näitab seadistatud gaasikulu l/min. Gaasikulu mõõtmiseks võib kasutada torukujulist rotameetrit, kus gaasi vooluhulga suurenedes torus olev kuulike tõuseb kõrgemale.

### **Kaitsegaasi klapp**

Kaitsegaas juhitakse reduktorist vooliku abil elektromagnetklapini (asub vooluallika sees) ja sealt edasi peavooliku kanali kaudu keevituspüstolisse. Gaasiklapi ülesandeks on enne keevitamise

alustamist peavoolik läbi puhuda ja pärast keevitamise lõpetamist juhtida kuumale keevisõmblusele kaitsegaasi.

### **Juhtimisseadmed**

MAG-keevituse tavaseadme esipaneelil või traadi etteandemahhanismi esipaneelil on välja toodud traadi etteandekiiruse (keevitusvoolu) muutmise potentsiomeetri nupp, astmelised kaarepinge reguleerimise lülitid (jäme- ja peenreguleerimiseks), pideva või katkendkeevitamise ümberlüüti, maanduskaabli kinnituspesad. Seda tuntakse kui kahe juhtnupuga (U-I) reguleerimist.

Kaasaegsetel invertertervooluallikatel põhinevatel seadmetel on võimalik sujuvalt muuta kaarepinget, väljundahela induktiivsust, kaaredünaamikat, seal on keevituspüstoli lülitusviiside ümberlüüti ja teised lisafunktsioonid.

Keevituspüstoli lülitus on kas 2-taktiline (2T) või 4-taktiline (4T). Kahetaktilisel (2T) lülitusel algab lüüti vajutamisel kaitsegaasi pealeandmine ja traadi etteandmine. Lüüti vabastamisel keevitamine lõpeb.

4-taktilisel (4T) lülitusel algab lüüti vajutamisel kaitsegaasi etteandmine, lüüti vabastamisel algab traadi etteandmine. Keevitamise lõpetamiseks vajutatakse lüütit uuesti, traadi etteandmine katkeb ja gaasi vool katkestatakse.

Sünergiline juhtimine. Tavaliselt sisestatakse materjali tüüp (süsinikteras, roostevaba teras, Al), kaitsegaasi tüüp, traadi läbimõõt, materjali paksus või nurkõmbluse kõrgus. Kasutatakse masinasse programmeeritud keevitusparameetreid. Eraldi potentsiomeetriga on võimalik muuta keevituskaare pikkust ja keevitusvoolu kuni 10%. Tuntud kui ühe juhtnupuga reguleerimine.

### **4.2.3 Keevituse lisamaterjalid**

Keevituse lisamaterjalideks on keevitustraadid ja kaitsegaasid.

#### **Kaitsegaasid**

Algselt kasutati süsinikteraste keevitamisel CO<sub>2</sub> kui kõige odavamat ja hästi kättesaadavat kaitsegaasi. Puhta CO<sub>2</sub> kasutamisel tekib kõrgematel kaarepingetel palju pritsmeid läbimõõduga  $d > 1,0$

mm, mis keevituvad õmbluse kõrval detailide pinnale ja mille eemaldamine lihvmasina või piikvasaraga on töömahukas. Samuti tuleb võimalikult täpselt leida tööpunkt ehk suhe U-I. Süsihappegaas tähistusega standardi EVS EN ISO 14175 järgi on C1 ja see leiab kasutamist õhukese pleki keevitamisel ja täidistraadiga keevitamisel.

Tänapäeval kasutatakse keevitamisel segugaase Ar + CO<sub>2</sub>. Levinuim segugaas Eestis on Ar + 20% CO<sub>2</sub>, mis võimaldab keevitada pihustuskaarega, tõsta märgatavalt keevituskiirust (15-30%) ja vältida jämedate pritsmete tekkimist. Selle segugaasi tähis on M21-ArCO-20, lühendatult M21. Segugaasi kasutamisel tekkivate pritsmete keskmine suurus on alla 0,3 mm ja nad on traatharjaga hõlpsasti eemaldatavad detailide pinnalt. Kuna segugaaside kasutamisel eraldub palju keevitaja tervisele kahjulikku osooni O<sub>3</sub>, siis on soovitatav kasutada NO lisanditega segugaase, tuntud Misoni tootenimetuste all, tingtähis Z-Ar + NO-0,03.

Austeniitse roostevaba terase keevitamisel tuleb kasutada standardi EN 1011-2 soovitusel segugaasi Ar + 2% CO<sub>2</sub>, mille tähis on M11. NO lisandiga segusegaasi Ar + 2% CO<sub>2</sub> tähistus on Z-ArC + NO-2/0,03. Alumiiniumi keevitamisel kasutatakse kaitsegaasina puhast argooni tähistusega I1 või NO lisandiga argooni..

Kaitsegaaside tähistus koosneb rühma ja alarühma tunnusest, millele sidekriipsu järel lisandub segugaasi koostise tähis ja sidekriipsuga eraldatuna nende sisaldus mahuprotsentides.

### **MIG/MAG-keevituse elektrooditraadid ehk keevitustraadid**

MIG/MAG-keevitusel kasutatakse tavaliselt elektroodina poolile keritud erilist keevitustraati. Kasutatakse täistraati ja torujat täidistraati.

### **MAG-keevituse täistraadid**

MAG-keevitusel kasutatakse väikese läbimõõduga (0,6–2,4 mm) tõmbamise teel saadud madal-süsinikterastraati, mis on enamasti kaetud 0,1–0,3 mm paksuse vasekihiga. Vase ülesandeks on parandada traadi tõmbamist läbi tõmbesilma, vähendada hõõrdumist traadi etteandmisel MAG-seadme peavoolikukanalis, kergendada vooluülekannet voolukontaktilt traadile, parandada mingil määral traadi korrosioonikindlust. Keevitustraadi koostises on desoksüdeerijateks mangaan (Mn) ja räni (Si).



## Täistraatide klassifitseerimine

MAG-keevituse täistraatide liigitus ja tähistus on toodud standardis EVS EN 440. Tähistus koosneb puhta õmblusmetalli mehaaniliste omaduste ja traadi tähisest, mis põhineb tema keemilisel koostisel. Praktikas kasutatakse sageli keevitustraadi lühitähist.

**Tabel 4.3. Keevitustraadi tähistamise näide**

Tähis	Standardi nr
Euronorm	EN 440
MAG-keevitus täistraat	G
Õmblusmetalli voolavuspiir ja katkevenivuse tähis	46
Õmblusmetalli purustustöö lööpaindel	3
Kaitsegaasi tähis	M
Traadi keemilise koostise tähis	Si1

Standardi järgi valmistatakse kuni 10 terastraadi marki, levinumad on traadid tähistusega **G2Si1** ja **G2Ti**, mis leiavad kasutamist keevitamises ainult segugaasides, kuna nende Si ja Mn sisaldus on liiga väike keevitamiseks CO<sub>2</sub>-s. Traadid G3Si1 ja G4Si1 sobivad nii puhtale süsihappegaasile kui ka segugaasile. Tähistusega G2Ti traati kasutatakse roostes ja värvitud terase keevitamiseks, samuti peenteraste keevitamisel. Traate G3Ni1 ja G3Ni2 kasutatakse miinustemperatuuril töötavate konstruktsioonide keevitamisel, kus nõutakse suurt löögisitkust. Keevitustraadi margi valikul arvetakse keevitatava materjali terasemargiga ehk tugevusomadustega. Keevitustraadi valikul tuleb arvestada traadi tootja soovitusi kasutatava kaitsegaasi osas.

## Täidistraadid

Viimastel aastatel on märgatavalt kasvanud MAG-keevitus täidistraadiga, mille osatähtsus arenenud tööstusmaades moodustab 20–25% kõigist lisamaterjalidest. Täidistraat on torujas elektrood, mille südamikuks on sarnaselt keevituselektroodidega desoksüdeerivad, legeerivad, räbu või gaasi tekitavad ained, keevituskaare stabiliseerijad ja ioniseerivad ained. Tegemist on justkui tagurpidise elektroodiga. Võrreldes täistraadiga on voolu juhtiv ainult traadi torujas kest, mistõttu sama traadi välisläbimõõdu ja keevitusvoolu juures kasvab voolutihedus elektroodis kuni 60% ja

vastavalt suureneb ka pealesulatustegur ning minnakse üle nn pihustusrežiimile väiksematel voolutugevustel. Keevituskaar ja läbikuumitus muutuvad laiemaks, mistõttu väheneb paksema plaadi keevitamisel liitevea ehk servade kokkusulamatuse tõenäosus. Eralduvad gaasid kaitsevad keevitusvanni paremini ümbritseva keskkonna eest. Tekkiv räbu toetab keevisõmblust ja parandab keevisõmbluse kuju, mistõttu enamasti sobib see kõigile keevitusasenditele.

Tööstuslikult valmistatakse erineva täidistüübiga traate: aluselise, rutiiltäidisega, metallpulbertäidisega jm. Täidisstraatide klassifikatsioon ehk liigitus on toodud standardis EN 758 ja täidise tähistus tabelis 4.4. Üks täidistraadi tähistamise näide on toodud allpool.

**EN 758 – T 46 3 1Ni B M 4 H5**, kus:

T – täidistraadi tähis

46 – keevismetalli mehaaniliste omaduste tähis, vt täistraat

3 – keevismetalli purustustöö tähis löökpaindel, purustustöö suurus 47 J

1Ni – keevismetalli legerimise tähis (vt standard EN 499)

B – täidise tüübi tähis

M – kaitsegaasi tüüp, kus N – ilma kaitsegaasita täidistraadid

4 – keevisõmbluse asendi tähis

H5 – keevisõmbluse metalli vesinikusisaldus ml/100 g, võib olla kas H5, H10, H15

**Tabel 4.4. Täidistraatide täidised**

Tähis	Täidise tüüp	Ühe (s) või mitme läbimiga (m) keevitamiseks	Kaitsegaas
R	Rutiil, aeglaselt tarduv räbu	s ja m	Nõutav
P	Rutiil, kiiresti tarduv räbu	s ja m	Nõutav
B	Aluseline	s ja m	Nõutav
M	Metallipulber	s ja m	Nõutav
V	Aluseline	s	Ei vajata
W	Aluseline, aeglaselt tarduv räbu	s ja m	Ei vajata
Y	Aluseline, kiiresti tarduv räbu	s ja m	Ei vajata
S	Muud tüübid		

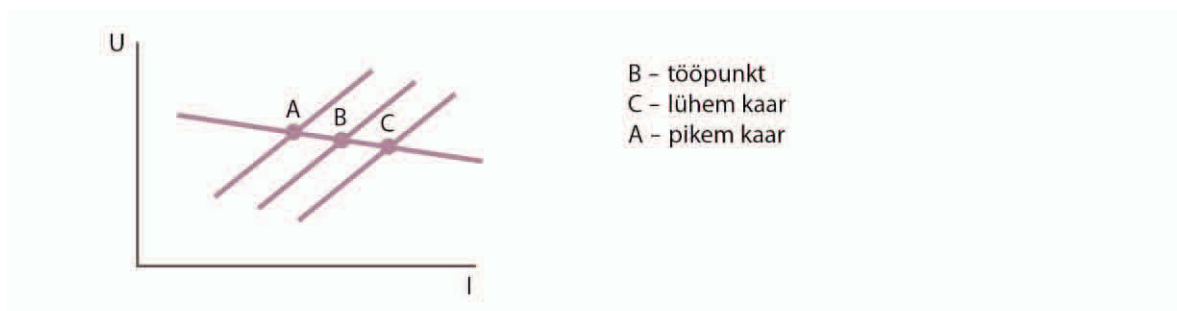
#### 4.2.4 Vooluallika ja keevituskaare tunnusjooned

Kaarkeevitust kirjeldatakse vooluallika ja keevituskaare tunnusjoontega. Nende kahe karakteristiku lõikepunkt kirjeldab keevitamise tööpunkti ja võimaldab analüüsida traadi etteandekiiruse või keevituspüstoli kauguse mõju keevitamise tulemusele.

MIG/MAG-keevitusel kasutatakse jäiga staatilise tunnusjoonega ehk püsivpingega vooluallikat, kus keevitusvoolu kasvades kaarepinge peaaegu ei muutu (joonis 4.18).

Keevituskaare tunnusjoont kirjeldatakse teljestikus „kaarepinge–keevitusvool” lihtsustatult tõusva sirgega, mille lõikepunkt vooluallika tunnusjoonega B vastab tööpunktile keevitamisel keskmise kaarepikkusega. Kaare pikenedes liigub tunnusjoon üles punkti A (pikem kaar) ja lühenedes alla punkti C (lühem kaar). Keevitusvoolu suurst muudetakse traadi etteandekiiruse muutmisega ja see kasvab viimase suurenedes. Keevituspüstoli kaugenedes detailidest liigub keevitamise tööpunkt esialgu väiksema keevitusvoolu piirkonda, nt punkti A. Keevitusvool väheneb. Halveneb kaitsegaasi kaitsev toime, mis võib põhjustada keevisõmbluse poorsust. Kui keevituspüstolit liigselt detailidele lähendada, siis keevituskaare pikkus hetkeliselt lüheneb ja keevitamine toimub tunnusjoontel punktis C. Kasvab keevitusvool, tekivad keevituspritsmed ja voolukontakt

kuumeneb üle. Jäiga vooluallika tunnusjoone kasutamine võimaldab niinimetatud keevituskaar pikkuse isereguleeruvust. See tähendab, et keevituspüstoli kauguse muutudes lühikese aja jooksul liigub tööpunkt normaalse kaarepikkusega keevitamise tööpunkti B lähedale.



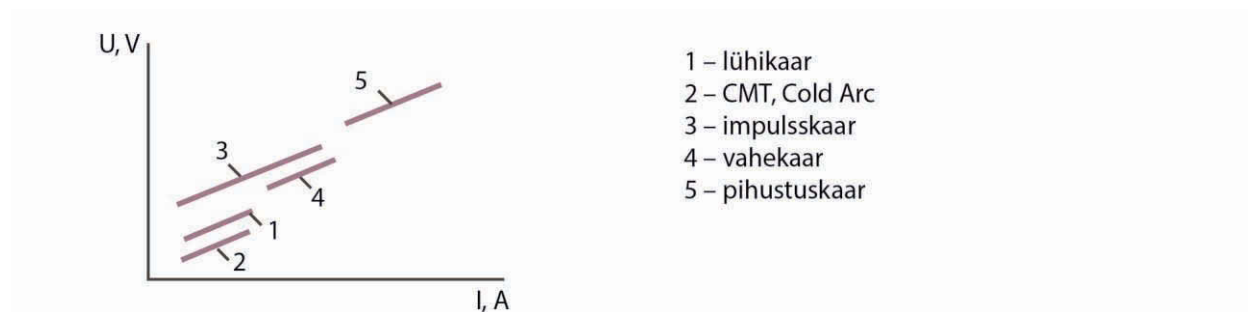
**Joonis 4.18. Vooluallika tunnusjoon ja kaare tunnusjooned: B – tööpunkt; C – lühem kaar; A – pikem kaar**

### Keevituskaar tüübid ja elektroodimetalli siirdeviisid

Kaarlahenduse mõjul sulab elektrooditraat ja erineva suurusega sulametallitilgad liiguvad sulasse keevisvanni erinevate siirdeviisidega ehk siirdemehhanismidega, mida iseloomustatakse **kaare tüüpidega**. Sõltuvalt siirdeviisist eristatakse MIG/MAG-keevitusel järgmisi kaare tüüpe:

- lühikaar ehk lühiskaar, tähistatakse protseduuril D-tähega,
- pikk-kaar,
- pihustuskaar, tähistatakse S-tähega,
- vahekaar, tähistatakse G-tähega.

Lisaks kasutatakse impulssvooluga ehk pulssvooluga kaart, pöörlevat ja forsseeritud keevituskaart, vt joonis 4.19.



**Joonis 4.19. Keevituskaare ja keevitusprotsesside põhitüübid: 1 – lühikaar; 2 – CMT, Cold Arc; 3 – impulsskaar; 4 – vahekaar; 5 – pihustuskaar**

**Lühikaar** ehk lühiskaar (*short arc*) esineb madalamatel kaarepingetel  $U \leq 15 \dots 20$  V ja väiksematel keevitusvooludel ( $I = 50 \dots 170$  A). Keevitustraadi otsa tekib kaare soojuse toimetel suur sulametallitilk, mis ühel hetkel lühistab detaili ja traadi vahelise vahemiku ning kaar kustub. Keevitusvool kasvab lühise tõttu ja elektromagnetjõudude toimetel eraldatakse sulametallitilk, mis siirdub keevisvanni. Seejärel kaar süttib ja protsess kordub. Minutis tekib umbes 70 tilka. 1,0 mm läbimõõduga keevitustraadi kasutamisel on traadi etteandekiirus vahemikus 1,6–7,4 m/min. Keevitamisel tekib väike ja kiiresti tarduv keevisvann, mis sobib õhukese materjali ning juureõmbluste keevitamiseks, samuti erinevates keevitusasendites töötamiseks ning suure õhupiluga detailide keevitamiseks. Kui keevitusparameetrid on valitud õigesti, iseloomustab seda kaare tüüpi iseloomulik heli ja väikesed pritsmed.

**Pikk-kaar** tekib keevitamisel süsihappegaasiga kaarepingel üle 25 voldi. Suured sulametallitilkad kalduvad kaarest kõrvale, mille tulemusena kaasneb palju pritsmeid ning õmbluse pind on konarlik. Seetõttu ei soovitata kasutada paksema terasplaadi keevitamisel.

**Vahekaar** esineb lühikaare ja pikk-kaare piirkondade vahel keskmistel keevitusvooludel (135..250 A) ja pingetel (21...24 V). Üheaegselt lühistega esineb jämetilksiire ja pihustussiire. Kasutatakse siis, kui lühikaareenergia ei ole piisav ja pihustuskaare oma on liiga suur. Võimalik kasutada ülalt alla püstõmbluste ja rõhtõmbluste keevitamiseks.

**Pihustuskaar** esineb suurtel keevitusvooludel ( $I = 175 \dots 350$  A) ja kaarepingetel ( $U_k = 25 \dots 35$  V) ning argoonipõhjaliste segugaaside kasutamisel peenetilgalise elektroodimetalli siirdel ilma kaarevahemiku lühisteta. Ülekanduvate metallitilkade läbimõõt on väiksem traadi läbimõõdust. Eristatakse kriitilist keevitusvoolu, mille korral metallitilkade läbimõõt hakkab järsult vähenema ja siire toimub peenikeste tilkadena. Keevituskaar on stabiilne ja suure energiaga. Saab keevitada suure tootlikkusega paksemat materjali **allasendis**.

**Keevituskaare tüübi määrab kaarepinge ja kasutatav kaitsegaas.**

## 4.2.5 Keevitusparameetrite ja keevitustehnika mõju keevisõmblusele

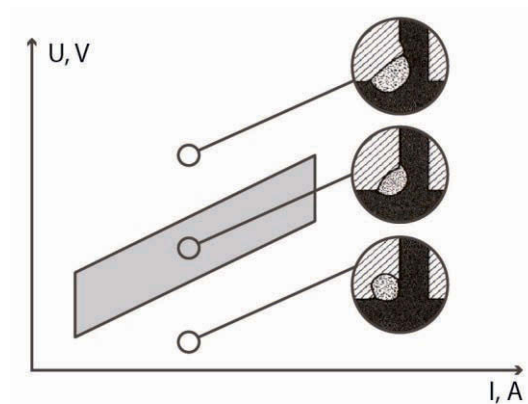
### Kaarepinge

Vooluallikaga reguleeritud kaarepinge mõjutab oluliselt keevitusprotsessi ja keevisõmbluse kuju.

Kaarepinge kasvades:

- kaar pikeneb ja heli muutub pehmemaks,
- kaar muutub liikuvamaks, tekib laiem ja väiksema läbikõrvitusega õmblus,
- keevituskaare võimsus kasvab, tekib voolavam keevismetall; ei sobi ruumiasendites keevitamiseks, kuna tekib pihustuskaar.

Kaarepinge mõju nurkõmbluse ristlõike kujule iseloomustab joonis 4.20.



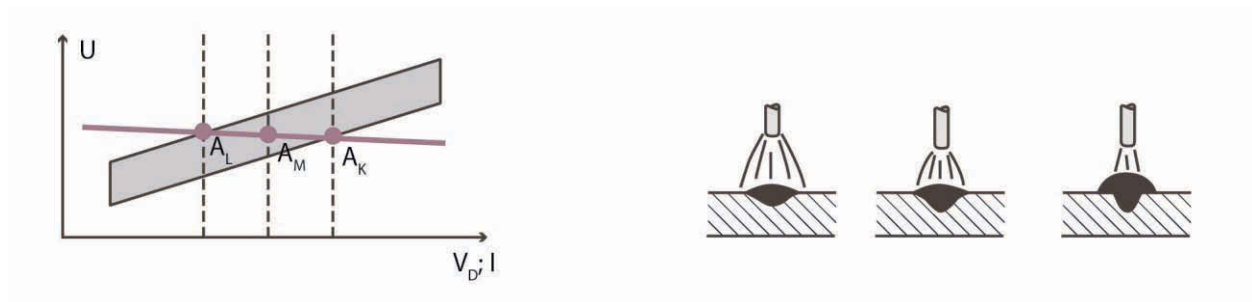
#### Joonis 4.20. Liiga kõrge kaare ja madala kaarepinge mõju nurkõmbluse kujule

Kui suurendatakse kaarepinget ilma keevitusvoolu muutmata, siis keevituskaar mõnevõrra pikeneb ja muutub liikuvamaks. Põkkõmblus muutub laiemaks ja madalamaks, läbikõrvitus väheneb. Nurkõmbluste keevitamisel liiga kõrge kaarepingega võivad tekkida sisselõike-nimelised keevitusdefektid. Madala kaarepinge korral saadakse kumerad keevisõmblused, mis ei ole soovitatav.

#### Keevitusvoolu tugevus

Keevitusvool sõltub otseselt traadi etteandekiirusest ja kasvab viimase suurenedes.

Vaatleme keevitusvoolu mõju põkkõmbluse ristlõikele ja läbikõrvitusele joonisel 4.121 toodud näite põhjal.



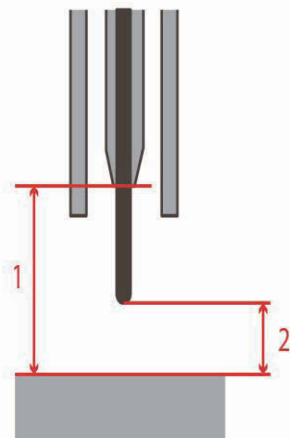
**Joonis 4.21. Keevitusvoolu mõju tööpunkti asukohale ja õmbluse ristlõikele**

Keevitusvoolu suurendamisel kaar lüheneb ja kaare heli muutub karedamaks, suureneb traadi sulamiskiirus ja keevitustootlikkus, saadakse kitsam ja suurema läbikõõritusega õmblus, kuid kasvab õmbluse tugevdus.

Keevitusvoolu vähendamisel traadi etteandekiiruse vähendamisega muutub keevituskaar pikemaks, läbikõõritus ja õmbluse tugevdus vähenevad ehk õmblus ei ole enam nii kumer.

### Voolukontakti kauguse mõju

Keevitamise lõpetades ulatub keevituspüstolist välja traadilõik, mida võib nimetada jääkosaks. Praktikas kasutatakse mõistet "voolukontakti kaugus", mis on traadi väljaulatus (kaugus voolukontakti otsast keevitatavate detailide pinnani). Seega on võimalik ligikaudselt määrata voolukontakti kaugus, lisades traadi jääkosa pikkusele kaare pikkuse millimeetrites. Lühikaarkeevitusel võib selleks lugeda umbes 1,5–2 mm.



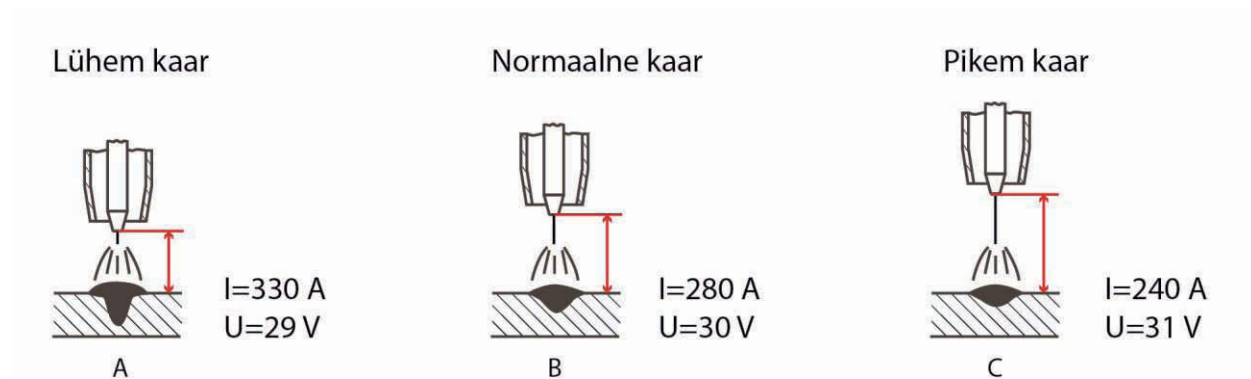
**Joonis 4.22. Voolukontakti kaugus (1) ja keevituskaar pikkus (2)**

Lühikaarega keevitades on voolukontakti **kaugus  $l = 10 d$  traat** ehk vahemikus **10–15mm**, pihustuskaarega keevitades  **$l = 15d$  traat** ehk **17–20mm** (tabel 4.5).

**Tabel 4.5. Traadi väljaulatuse ehk voolukontakti soovitatav kaugus**

Traadi läbimõõt, mm	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6
Voolukontakti kaugus, mm	5...8	6...12	7...13	8...15	13...20

Vaatame olukorda, kus traadi etteandekiirus seadistati väärtusele 8,8 m/min. Voolukontakti kaugus muutus keevitamise ajal. Selle tulemusena muutusid kaarepinge, voolutugevus ja keevisõmbluse ristlõike kuju.



**Joonis 4.23. Voolukontakti kauguse mõju keevitusvoolule, kaarepingele ja õmbluse ristlõikele**

Kui traadi väljaulatus ehk voolukontakti kaugus on suurem optimaalsest, siis suurenevad pritsmed, väheneb läbikeevituse sügavus ja keevisõmbluses võivad tekkida poorid ebapiisava gaasikaitse tõttu. Kui traadi väljaulatus on väike, tekivad pritsmed, võivad ära põleda nii voolukontakt kui ka gaasisuudmik.

### Väljundahela induktiivsuse mõju

Lühikaarkeevitusel on MIG/MAG-tavavooluallikal lühisvoolude kasvu ja maksimumväärtuste piiramiseks väljundahelasse lülitatud väljavõtetega induktiivpool ehk drossel. Juhul kui keevitus-



voolu kasvu ei aeglustata, siis metallitilgad eralduvad keevitustraadi otsast plahvatuslikult ja tekib palju keevituspritsmeid. Keevitusprotsessi saab muuta stabiilsemaks, suurendades vooluallika väljundahelas induktiivpooli keerdude arvu. Tavavooluallikates on võimalus ühendada maanduskaabel erinevatesse pistikupesasse. Tavaliselt on pistikupesasid 2 või 3. Maanduskaabli ühendamisel teise pesasse kasvab ahela induktiivtakistus, väheneb lühiste arv ja voolutõuked ning siirdeprotsess muutub rahulikumaks. Invertervooluallikates saab induktiivsust muuta sujuvalt seadme esipaneelil välja toodud potentsiomeetrinupu abil. Reeglina kasutatakse väiksemat induktiivsust õhema pleki keevitamisel peenikese keevitustraadiga ja ka alumiiniumi keevitamisel.

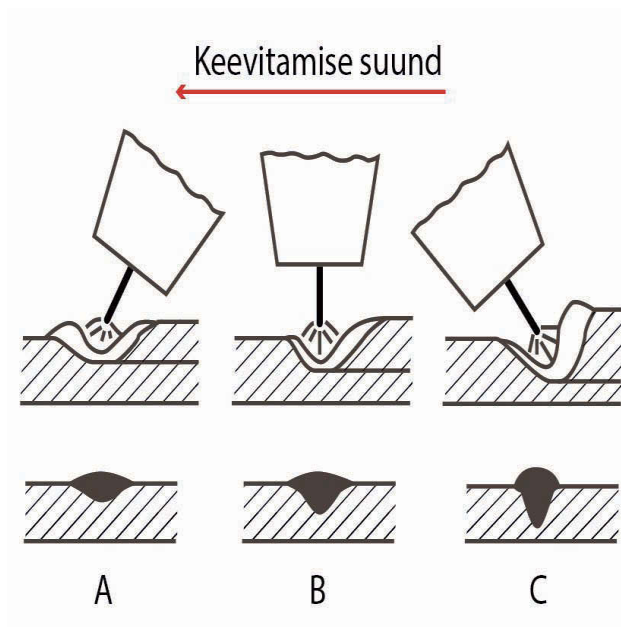
Invertervooluallikates saab täiendavalt juhtida keevitustraadi siirdeprotsessi ja keevitusvoolu tõusu "kaaredünaamika" funktsiooni abil. Kui energia on liiga suur, siis tekib palju ebasoovitavaid pritsmeid. Kui energiat on liiga vähe, siis kuhjub sulasse keevisvanni liiga palju metalli, kaar ei sulata detailide servi, halveneb keevisõmbluse kvaliteet ja läbikeevituse sügavus. Optimaalsed seadistused määratakse proovikeevitustega.

### **Keevitustehnika ja keevituspüstoli kaldenurga mõju**

Keevisõmbluse kuju ja ristlõike mõõtmed sõltuvad keevituspüstoli liikumise suunast ja kaldenurgast (vt joonis 4.24). Keevituspüstoli liikumisel vasakult paremale ehk **vedava tehnikaga** keevitamisel on püstoli ja keevisõmbluse vahel teravnurk. Vedaval keevitamisel saadakse sügav ja kitsas keevisõmblus kõrge keevisvalliga, kuna keevituskaar surub sula keevismetalli keevisvanni tagasi ega lase viimasel valguda keevituskaare ette. Vedavat tehnikat soovitatakse kasutada paksema materjali keevitamisel, kus saadakse paksemad keevituslähimid.

Keevituspüstoli ja keevisõmbluse vahelise täisnurga ja nürinurga korral, st keevituspüstoli liikumisel paremalt vasakule on tegemist **tõukava tehnikaga**. Keevituspüstoli kaldenurga suurenedes muutub keevisõmblus laiemaks ja madalamaks. Keevituskaare survega tõugatakse osa sula keevismetallist ettepoolt ja külgedele, mistõttu läbikeevituse suurus väheneb. Saadakse sujuvam üleminek keevisõmbluselt põhimetallile, väheneb sisselõike tõenäosus õmbluse kõrval. Tõukavat tehnikat on soovitatav kasutada õhema materjali korral, vertikaalõmbluste keevitamisel, I-õmbluste keevitamisel suure õhupiluga, ent ka nurkõmbluste keevitamiseks. Läbikeevitust saab suurendada püstoli kaldenurga muutmisega (skeem b), kus püstol on püstises asendis ja läbikeevitus kasvab. Sellist keevitustehnikat võib nimetada püstiseks tõukavaks. Eelpooltoodust selgub, et läbikeevi-

tust on võimalik juhtida keevitamise käigus püstoli kaldenurga väikese muutmisega. Tavaliselt hoitakse keevitamisel keevituspüstolit 5–15 kraadise nurga all vertikaali suhtes.



**Joonis 4.24. Keevituspüstoli liikumissuuna ja kaldenurga mõju õmbluse ristlõikele: a – tõukav tehnika; b – püstine tõukav tehnika; c – vedav tehnika**

### **Keevituskiirus**

Keevituspüstoli liikumise kiirusel ehk keevituskiirusel on oluline mõju õmbluse kujule ja keevitusdefektide tekkele. Keevituskiirus sõltub õmbluse tüübist, keevitusasendist ja keevituse sooritustehnikast (sirge, võngutav, kolmnurkne liikumine) läbimite keevitamisel.

Kogenud keevitaja valib sobiva keevituskiiruse, tagades kaare põlemise keevitusvanni peal või eesmisel osal. Liiga suure keevituskiiruse korral võib kaar põleda õhupilus detailide vahel ja nii saadakse ebakvaliteetne õmblus.

### **Keevituse soojussisestus**

Kaarkeevitust iseloomustatakse 4 parameetriga:

- keevitusvool
- kaarepinge

- keevituskiirus
- keevituse soojussisestus

Viimane keevitusparameeter, soojussisestus, on paljuski seotud keevitaja sooritustehnikaga – kas käsi liigub sirgjooneliselt või teeb võnkliikumisi või keerulisemaid liikumisi.

Keevituse energiat iseloomustatakse õmbluse pikkusühiku kohta sinna sisestatud soojushulgaga ehk **soojussisestusega**:

$$Q_e = \frac{U_k \cdot I_k \cdot k}{V_k} \cdot 10^{-3}$$

kus  $Q_e$  – soojussisestus, kJ/mm

$U_k$  – kaarepinge, V

$I_k$  – keevitusvool, A

$V_k$  – keevituskiirus, mm/s

$k$  – protsessi kasutegur: käsikaarkeevitusel  $k = 0,8$ , MIG/MAG-keevitusel  $k = 0,85$ , TIG-keevitusel  $k = 0,6$ , räbustikeevitusel  $k = 1,0$

Keevituse soojussisestus mõjutab keevitusdeformatsioone ja võimalike külmpragude ehk vesinikpragude teket. Soojussisestuse suurendamisel voolutugevuse suurendamisega või keevituskiiruse vähendamisega suureneb keevisõmbluse ristlõige ja kasvavad keevitusdeformatsioonid. Soojussisestuse suurusega tuleb arvestada roostevaba terase ja tugevate konstruktsiooniteraste keevitamisel. Deformatsioonide vähendamiseks oleks soovitatav keevitada paljude läbimitega ehk väikese soojussisestusega.

#### 4.2.6 Poolautomaadi seadistamine ja reguleerimine

Enne töö alustamist tuleb poolautomaat seadistada ja reguleerida. Seadistamise all mõeldakse sobiva traadikõri ja traadietteanderullide valikut ja kinnitamist, etteanderullide surve, traadi pooli piduri seadistamist. Seadme reguleerimise all mõeldakse elektriliste parameetrite muutmist: kaarepinge, traadi kiirus ja vool, ahela induktiivsus.

Poolautomaadi reguleerimise eesmärgiks on vajaliku keevituskaarevõimsuse tagamine piisava keevitusvoolu ja kaare tüübi valikuga, kusjuures kaar peab olema stabiilne ja minimaalsete keevituspritsmetega. Seadme reguleerimise optimaalsust hinnatakse sageli kaare tekitatava heli järgi: eristatakse ragisevamat, jäigemad, karedamat kaart või pehmemat kaart. Optimaalsete keevitusparameetrite korral toimub keevitamine stabiilse erilise "siriseva" häälega.

Keerulisemad keevituse vooluallikad on mitmeotstarbelised ja nendega saab keevitada ka käsi-kaarkeevituse ja mõnel juhul ka lisaks TIG-keevitusega. Täiuslikumad MIG/MAG-seadmed võimaldavad keevitada nii alalis- kui ka impulssvooluga. Juhtpaneelilt on võimalik muuta kaare pikkust, mille tulemusena saame kaare lühenedes kumerama õmbluse, kaare pikenedes aga nõgusama õmbluse. Saab kasutada seadme tootja tarnitavaid keevitusprogramme, samuti salvestada mälu enda poolt leitud keevitusparameetrid ja neid hiljem taaskasutada.

Poolautomaadiga keevitades reguleeritakse või valitakse järgmised keevitusparameetrid ja -tehnikad:

- traadi läbimõõt
- kaarepinge
- traadi etteandekiirus/keevitusvool
- keevituskiirus
- kaitsegaasi kulu
- voolukontakti kaugus ja traadi väljaulatus
- keevituspüstoli kaldenurk ja liikumissuund
- väljundahela induktiivtakistus

### **Keevitraadi valik ja traadi etteandemehhanismi seadistamine**

Keevitatava terase tugevusnäitajate järgi valitakse keevitraadi mark. Kõige levinum traadimark on G3Si1.

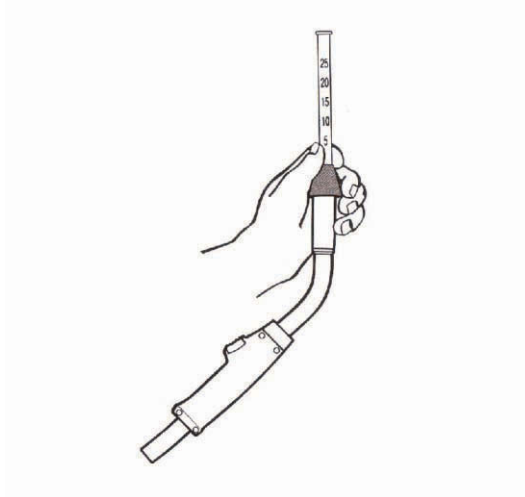
Tabelitest valitakse terase paksuse järgi traadi läbimõõt. Kontrollida tuleb traadi kvaliteeti, et ei esineks vasekihi mahakoormist või mustust ning roostet traadil.

- Aseta kohale traadi pool (kassett).
- Kontrolli etteanderullide, voolukontakti ja traadi juhtkõri sobivust antud traadi läbimõõdule (number on etteanderulli tagaküljel).
- Vabasta traadi ots poolilt ja sirgesta umbes 200 mm pikkuselt. Kontrolli, et traadi ots ei oleks terav (võib vigastada kanalit ja voolukontakti). Vajadusel töötle traadi otsa viiliga.
- Lükka traat juhtpuksi ja etteanderullide soonde.
- Kontrolli, kas traat asub etteanderullidevahelises soones, ja kinnita surverull.
- Lülita pealüliti asendisse „keevitamine“ ja vajuta nii kaua püstolinupule, kuni traat tuleb juhtkanalisse.
- Jäta traadi otsa pikkuseks umbes 20 mm ja kinnita voolukontakt, reguleerides traadi juhttorude kõrgust nii, et traat jookseks poolilt etteanderullide vahelt sirgelt ilma läbi-paineteta.
- Reguleeri rullide survet traadile. Traat ei tohi libiseda, kui hoiad kindas käega kinni traadi otsast keevituspüstoli juures.
- Reguleeri traadipooli pidur õigele pingusele, nii et etteanderullide peatudes ei jookseks traat poolilt maha.
- Puhasta keevituspüstoli suudmik keevituspritsmetest ja töötle selle sisepinda aerosooliga või pastaga pritsmete külgekleepumise vähendamiseks.

### **Kaitsegaasi kulu seadistamine**

- Ava gaasiballooni ventiil ja reduktori kulumõõturi nõelventiil.
- Keera välja gaasireduktori reguleerimiskruvi – minimaalne surve membraanile.
- Sea traadi etteandekiirus nulli peale.
- Vajutata püstolinupule; avaneb magnetklapp.
- Reduktori reguleerimiskruvi abil seadista gaasi kulu ühikutes (liitrit/minutis).
- Võimaluse korral kasuta täppiseadistamist nõelventiiliga.

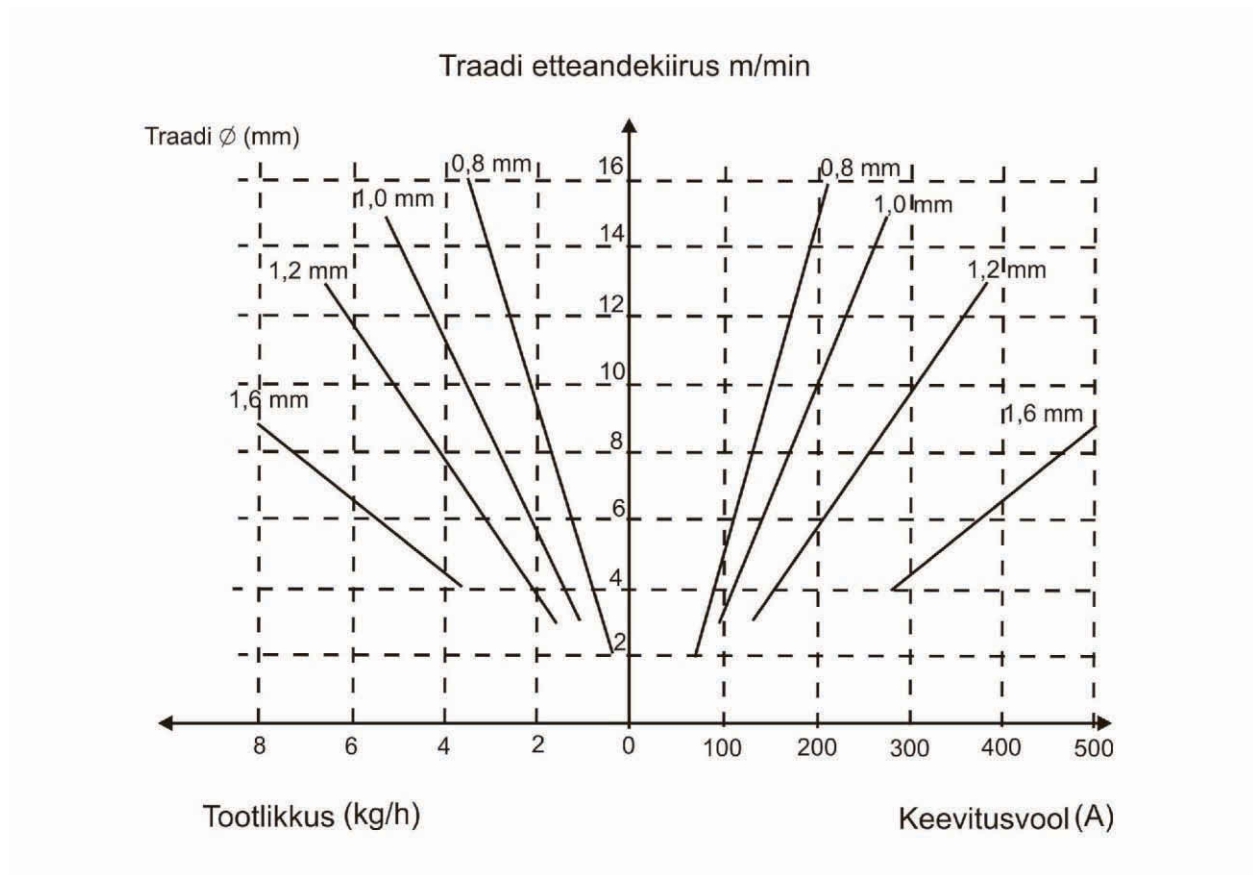
Tavaliselt seadistatakse reductorgaasikuluks 10-12 l/min. Perioodiliselt (kuni 2 korda päevas) kontrollitakse gaasi etteandmist keevituspüstolist torurotameetriga, lülitades seejuures välja traadi etteandmise.



**Joonis 4.25. Kaitsegaasi kontrollimine töökohal kuulikese kõrguse järgi torurotameetriga**

#### **Kaarepinge ja keevitusvoolu seadistamine**

- Vali tabelitest sõltuvalt materjali paksusest ja liite tüübist kaarepinge ja keevitusvoolu väärtused. Seadista kaarepinge esipaneeli allosas olevate jäme- ja peenreguleerimisnuppude abil. Kaarepinget tohib muuta ainult keevitamise vaheaegadel.
- Seadista traadi etteandekiirus etteanderullide pöörlemissageduse muutmise teel. Kui seadmel puudub ampermeeter, siis reguleeritakse etteandekiirus tavaliselt natuke suuremaks ja proovikeevitusega määratakse õige keevitusvool.
- Näidiku puudumisel lase traadil vabalt püstolist välja joosta 10-30 sekundit, mööda väljunud traadi pikkus ja arvuta traadi kiirus m/min. Kasuta joonisel 4.26 toodud graafikut. Väljajooksnud traat keri tagasi poolile või löika maha.



**Joonis 4.26. Graafikud keevitusvoolu tugevuse määramiseks traadi läbimõõdu ja etteandekiiruse abil. Kaitsegaasiks on segugaas. Voolukontakti kaugus lühikaarega keevitamisel 15 mm, pihustuskaarega keevitamisel 20 mm**

**Märkus:** graafikud süsihappegaasi ja segugaasi jaoks erinevad üksteisest mõnevõrra.

**Reegel** – kui suurendatakse traadi etteandekiirust ja keevitusvoolu, siis tuleb ühtlasi suurendada kaarepinget. Vastasel korral muutub kaar pikemaks, kaasnevad defektid nagu pritsmed, poorid ja nurkõmblustel ka sisselõiked.

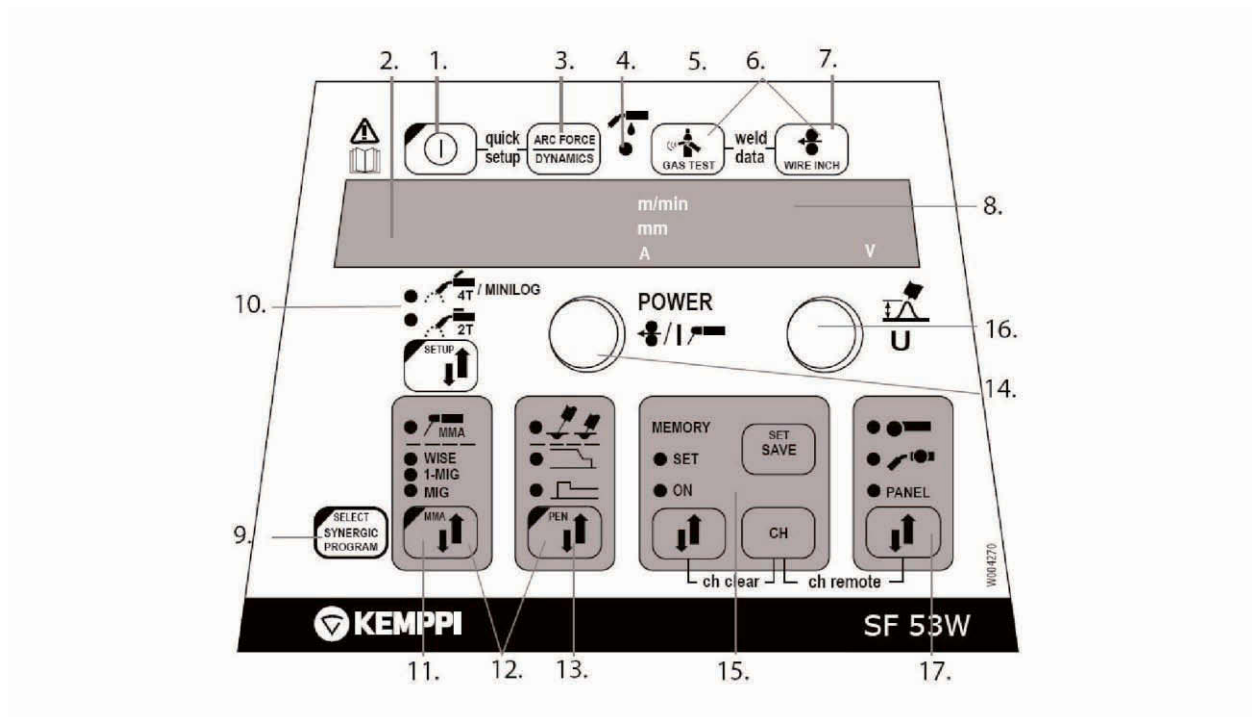
- Hoides voolukontakti ehk püstoli otsa 12-15 mm kaugusel detailidest, keevita lühikaarega ( $U < 20V$ ) prooviläbim. Vähenda traadi kiirust, kuni kaar põleb rahulikult ja ilma pritsmeteta iseloomuliku „siriseva“ häälega. Nii leiad keevitamise tööpunkti.
- Induktiivpooli seadistamine. Kanna väikestel keevitusvooludel maanduskaabel esimesse pesasse, kus on lülitatud ahelasse vähem drosselikeerduid. Suurematel keevitusvooludel kasuta suuremat induktiivsust – lülita maandus järgmisesse pesasse. Invertervooluallikatel lülita induktiivsust ümber vastava potentsiomeetri abil.

## Sünergilise seadme reguleerimine

Vaatleme Eestis enimlevinud nüüdisaegse mitmeotstarbelise FastMig Synergic keevitusseadme juhtpaneeli häälestamist (vt joonis 4.27). Seade on sünergilise juhtimisega ja peaaegu samasugune kui MIG/MAG-keevituse lipulaev, mis võimaldab keevitada ka impulssvooluga. Juhtpaneel asetseb traadi etteandemehhanismi küljes.

Keevitusseadet saab kasutada käsikaarkeevituseks (vt juhtpaneelil positsioon 11 tähisega MMA), traditsiooniliseks MIG-keevituseks (tähis MIG), kus reguleeritakse eraldi kaarepinget ja traadi etteandekiirust. Tähise "1-MIG" aktiveerimisel kasutatakse sünergilist standardset MIG/MAG-keevitust, kus sisestatakse info keevitatava materjali tüübi kohta, nt Fe tähistab süsinikterast, roostevaba terast ja alumiiniumi. Edasi sisestatakse traadi tüüp (täistraat, täidistraat), selle järel traadi läbimõõt ning kaitsegaas (CO<sub>2</sub>, segugaasi tüüp) ja seejärel lähtub keevitusseade tehase poolt koostatud programmist, kus materjali paksuse või nurkõmbuse kõrguse järgi valitakse sobiv kaarepinge ja traadi etteandekiirus. Sama traadi etteandekiiruse juures saab peenreguleerida kaarepinget ja kaare pikkust. Kaarepinge tõstmisel muutub kaar pikemaks ja saadakse nõgusamad õmbused. Kaare pikkuse lühendamisega muutub õmbuse välispind kumeramaks. Lisaks on võimalik hankida tasulisi lisaprogramme, nt Wise'i versioone. Funktsioon Wise Penetration hoiab keevitusvoolu väärtuse püsivana ka siis, kui voolukontakti kaugus ehk püstoli kaugus detailidest muutub. Nii tagatakse ettenähtud läbikeevitussügavus. Funktsioon Wise Root on mõeldud õmbuste keevitamiseks püstasendis ülalt alla (asend PG), tagades hea juure läbikeevituse. Võrreldes keevitamisega püstasendis alt üles (asend PF), kasvab keevituskiirus 2-3 korda. Funktsioon WiseThin on mõeldud õhukese pleki keevitamiseks minimaalse soojussisestusega ja minimaalsete keevitusdeformatsioonidega. Üldjuhul aktiveeritakse lisaprogrammid interneti teel.





**Joonis 4.27. Sünergilise seadme juhtpaneel**

FastMigSynergic juhtpaneelil SF-53w on järgmised juhtnupud ja võimalused:

- juhtpaneeli ja traadi etteandemehhanismi sisse/välja-lüliti, mis on lisaks vooluallika pealülitile,
- displei vasak pool keevitusparameetritele ja veakoodidele (kui seade tuvastab endas mingi häire),
- kaaredünaamika,
- vedelikjahutusseadme sisse/väljalülituse signaallamp,
- kaitsegaasi test, kaitsegaasi kulu mõõtmise kulumõõturiga keevituspüstoli otsast ilma traadi etteandmiseta ja keevitusvooluta,
- nuppude 5 ja 7 üheaegsel vajutamisel näitab seade viimati kasutatud keevitusvoolu ja kaarepinget,
- traadi söötmiseks peavoolikusse ja keevituspüstolisse traadi etteandmise sisselülitamine (ilma keevitusvooluta ja kaitsegaasikuluta),
- displei parem pool keevitusparameetritele ja veakoodidele (kui seade tuvastab mingi häire),

- 1-MIG-sünergiliste programmide valik (seadmega käib kaasas eraldi tabel, mille põhjal valitakse õige programmi number),
- juhtimisfunktsioonide 2T/4T/Minilog valik,
- keevitusprotsessi valik,
- tõsteklahv,
- lõpetuskraatri täiskeevitamise ja kuumstardi funktsioonide sisse/väljalülitamine,
- keevitustraadi kiiruse/keevitusvõimsuse reguleerimine,
- mälu keevitusparameetrite salvestamiseks,
- kaarepikkuse/pinge järelreguleerimine, kumera/nõgusa nurkõmbluse kuju saamine,
- seadme reguleerimiskoha valik (juhtpaneelilt, keevituspüstolilt, kaugjuhtimispuldilt).

### **Keevitusseadmete TPS põlvkond**

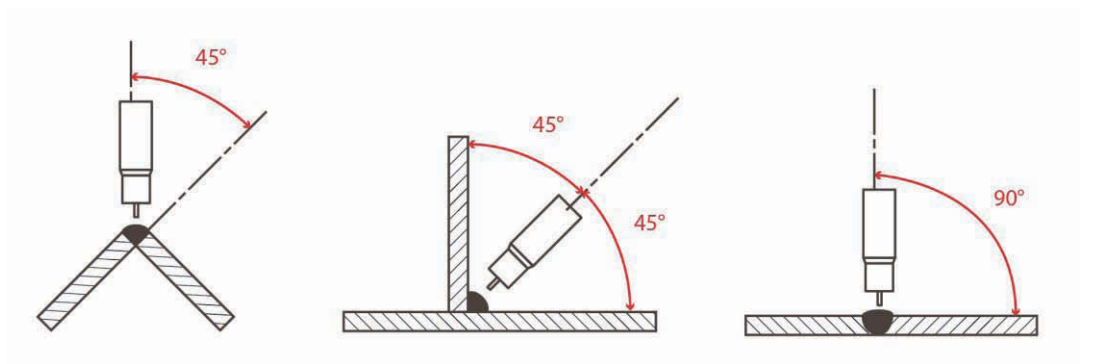
Uue põlvkonna MIG/MAG-seadmete esindajaks on TPS sarja tooted. Täisdigitaalset esimest tööstuslikku tootesarja nimetatakse TPS Digital Revolutioni põlvkonnaks ja see on eriti levinud robotkeevitusel. Järgmist põlvkonda nimetatakse TPS Intelligent Revolutioni põlvkonnaks, mille esimesed seadmed on juba Eestis evitatud.

Vaatleme täisdigitaalse puuetundliku kasutajaliidesega seadet TPS. Koos uue raud- ja riistvaraga saavad kasutajad seadme, mis on kohandatav individuaalsetele vajadustele ja mille tehnoloogilisi võimalusi on võimalik uuendada ja kaasajastada. Seadet iseloomustab intelligentsus ja väljapaistvad kommunikatsiooniomadused. Seade on varustatud tekstipõhise displeiga ehk ekraaniga, mis annab kasutajale infot seadme kõigist parameetritest, tuvastab automaatselt kõik saadaolevad seadme võimalused ning hoiatab ohtude eest. Keevituspüstolisse integreeritud minidisplei võimaldab kontrollida seadme parameetreid ja funktsioone töökohalt lahkumata. Seadme tööd juhib kiire protsessor, mis analüüsib keevitusprotsessi ja keevitustraadi siirdeprotsessi ja väljastab optimaalsed keevitusparameetrid. Selle tulemuseks on vähem keevituspritsmeid lühikaarega keevitamisel, parem ja juhitav sulametallitilga siire keevitustraadi otsast, kaare parem stabiilsus ja paremini kontrollitud süütamine.

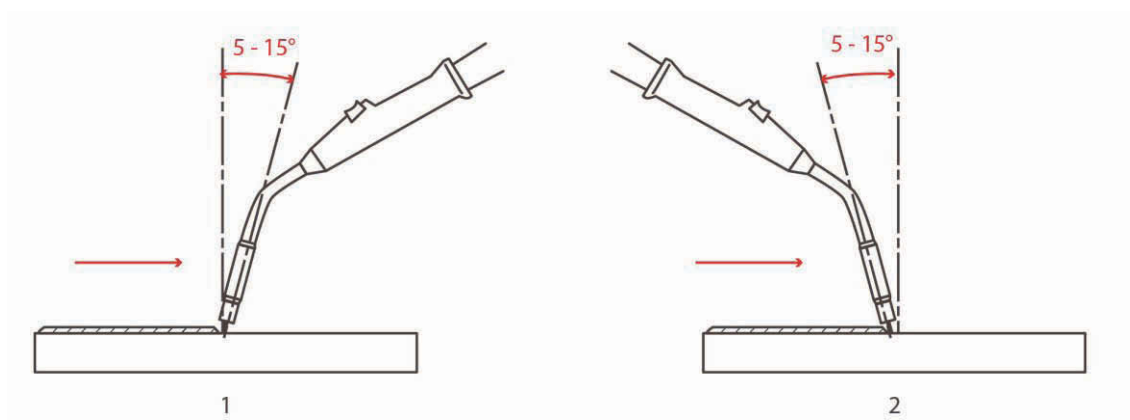
Seadme juhtimine on moodulpõhine, mis tähendab, et süsteemi aluseks on arendusteks avatud standardmoodul, mida saab laiendada. Näiteks saab tarkvarauuendusega lisada impulssvooluga keevitamise. Uusi võimalusi ja funktsioone saab laadida kas läbi interneti või USB-pulga abil. See avab võimaluse süsteemi tarkvara uuendamiseks tulevikus. Seade võimaldab otsest suhtlust inimese ja masina, keevitusroboti ja pöördlaudade jm abiseadmete vahel. TPS süsteemi saab jälgida ja analüüsida läbi võrguühenduse, tagades andmevahetuse paljude erinevate seadmetega, nt robotitega. Süsteemi kaughaldus ja analüüs on tehtud võimalikuks üle interneti.

### Keevituspüstoli asend ja liikumine

Keevituspüstolit hoitakse põkkõmbluste keevitamisel detailidega risti, keevitamise suunas kallutatakse tavaliselt  $15^\circ$  nurga alla (vt joonis 4.28). Nurkõmbluste keevitamisel hoitakse püstolit  $45..50^\circ$  all. Püstoli kaldenurka tuleb muuta erineva paksusega materjalide keevitamisel, tavaliselt kallutatakse paksema detaili poole.



Joonis 4.28. Keevituspüstoli kaldenurk



Joonis 4.29. Keevituspüstoli kaldenurk keevitussuunas: 1 – vedav tehnika, 2 – tõukav tehnika

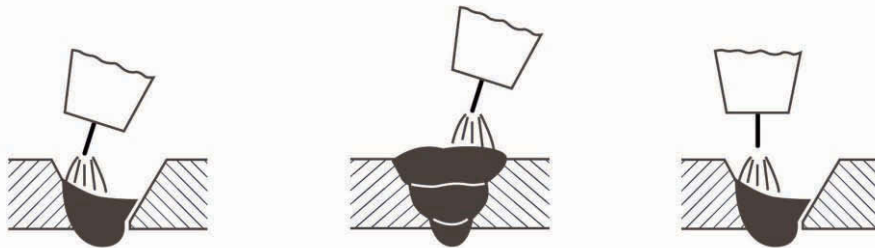
#### 4.2.7 Tüüpilised keevitusdefektid ja seadme töö häired

MIG/MAG-keevitusega võivad kaasneda keevitusdefektid, mis on põhjustatud kas seadme valest seadistusest, keevitustehnikast või häiretest seadme töös. Iga keevitusprotsessiga kaasnevad iseloomulikud keevitusdefektid, milleks poolautomaatkeevituse korral on õmbluse servade kokkusulamatus ehk liiteviga ning poorid. Õmbluse servade kokkusulamatus esineb tavaliselt paksema faasitud terasplaadi põkkõmbluste ja ka paksema materjali korral nurkõmbluste keevitamisel.

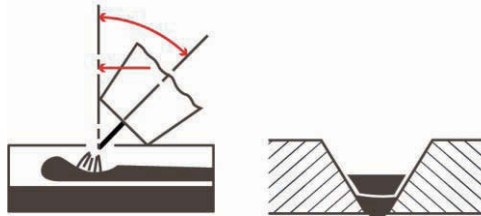
Kokkusulamatuse sagedaseks puuduseks on keevituskaare liiga väike võimsus või soojussisestus. Üritatakse peenikese traadiga, väikese voolu ja madala kaarepingega seadistusel keevitada liiga paksu materjali, kus kaareenergiast ei jätku õmbluse servade sulatamiseks. Sama mõju avaldab voolukontakti liigne kaugus või liiga suur keevituskiirus. Sageli on selle defekti põhjuseks sula keevismetalli valgumine faasitud servadele, mistõttu keevituskaar ei mõju vahetult servadele, vaid läbi sulametallikihi. Kokkusulamatus on raskesti avastatav defekt. Keevisliite röntgenuuriting ei anna alati adekvaatset tulemust. Paremini sobib kas ultraheliuuriting või keevisliite purustav murdekats. Praktikas tuleks keevitada proovikeha ja lintsaega lõigata välja õmbluse makrolihv ja valada sinna natuke hapet, nt lämmastikhappelahust. Kui on nähtav selge eraldusjoon põhismetalli ja õmbluse vahel, siis on tegemist kokkusulamatusega ja tuleks analüüsida võimalikke tekkepõhjusi. Kokkusulamatuse ehk liitevea võimalikud põhjused võivad olla:

- Keevituspüstol nihkub kõrvale õmbluse keskjoonest ja kaar on suunatud faasitud tooriku ühele servale.
- Keevituspüstol on kallutatud ühe õmbluse serva poole (vt joonis 4.31).
- Keevituspüstoli liiga suur kaldenurk põkkõmbluste keevitamisel tõukava keevitustehnikaga, mille käigus võidakse osa sulast keevismetallist suruda kaare ette.
- Liiga väike keevituskiirus tõukava tehnika kasutamisel, mille tulemusena võib osa sula keevismetalli liikuda kaare ette (vt joonis 4.32).

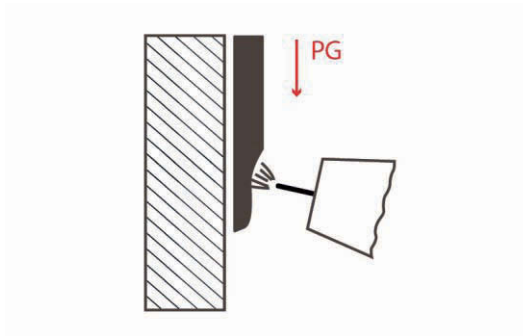
- Suuremate nurkõmbuste ja faasitud toorikute pökkõmbuste keevitamisel vertikaalasendis ülalt alla (asendis PG) keevismetalli valgumine kaare ette (vt joonis 4.33). Esineb eriti pihustuskaarega keevitamisel. Tuleb eelistada keevitamist alt üles (PF) asendis.
- Keevitamisel lähestikku asetsevate detailide vahel, kus ei ole võimalik nurkõmbuse keevitamisel suunata kaart õmbuse keskohta (vt joonis 4.34).
- Mitmekihilise õmbuse läbimi jätkamisel, kus tuleb juurelábimi kumer lõpetuskoht madalamaks käiata ja jätkata selle koha pealt.
- Detailide servade lohkas faasimine või nihkumine koostamisel. Liiga järsk faasinurk ja servade nüristuse puudumine ning servade nihe võib põhjustada kokkusulamatust.



**Joonis 4.30. Püstoli nihkumisest või valest kaldenurgast tingitud servade kokkusulamatus [16]**

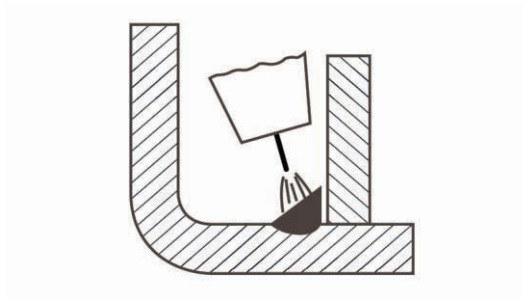


**Joonis 4.31. Valest keevituskiirusest või liigsuurest püstoli kaldenurgast tingitud servade kokkusulamatus [16]**

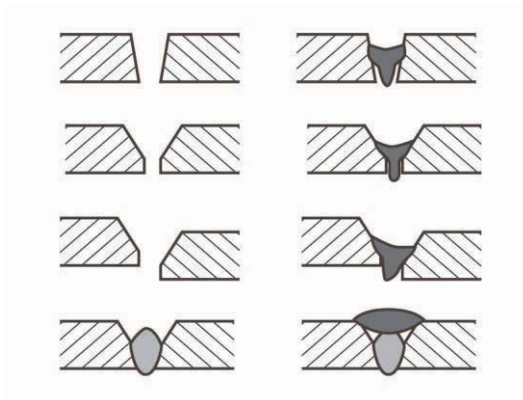


**Joonis 4.32. Keevitamisel ülalt alla asendis (PG) võib tekkida kokkusulamatus [16]**

Keevitamisel kitsastes tingimustes, kus ei ole võimalik suunata kaart õmbluse keskele, tekivad defektid (joonis 4.33).



**Joonis 4.33. Raskendatud ligipääs põhjustab servade kokkusulamatust [16]**

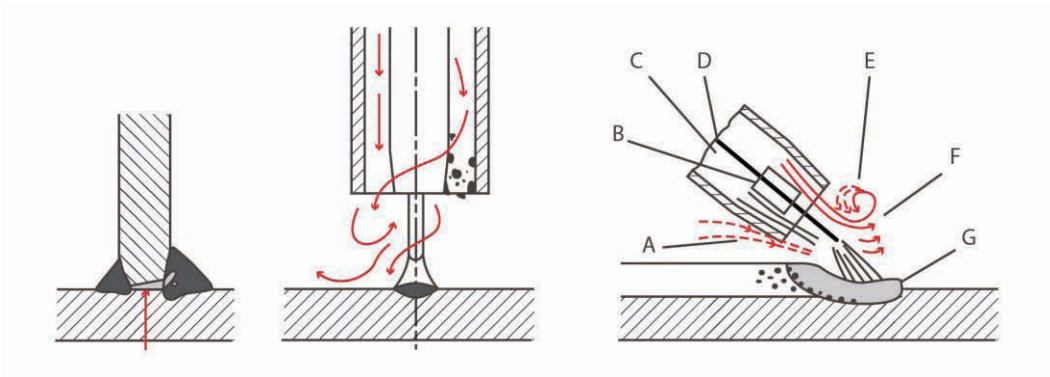


**Joonis 4.34. Lohakalt faasitud ja koostatud õmblus ja kumer juurelääbim põhjustavad kokkusulamatust [16]**

Pooride tekkepõhjuseks võib olla (vt joonis 4.35):

- püstoli defekt
- liigsuur püstoli kaldenurk

- tõmbetuul keevituskohas
- liiga pikk keevituskaar
- kaare kõrvalekalle magnetvälja toimel (magnetpuhelus)
- mustus, värv detailide servadel
- gaasisüsteem ei ole hermeetiline
- detailidevahelisse õhupilusse jäänud gaaside paisumine



**Joonis 4.35. Võimalikud õhupooride tekkepõhjused [16]**

Sisselõiget ja pealevalgumist võivad nurkõmbuste ja horisontaalsete põkkõmbuste keevitamisel põhjustada:

- liiga kõrge kaarepinge
- keevituspüstoli võngutamine ilma pausideta servadel või lühike pausiaeg võngutusliikumise lõpus
- magnetvälja toimel kaare kõrvalekalle õmbuse lõpus (magnetpuhelus)
- liiga paksud läbimid ja väike keevituskiirus
- liiga suur kaare võimsus – suur keevitusvool

Seadme töös võib esineda järgmisi häireid:

1. Keevitraadi ebäühtlane etteandmine, kuna traadipool kerib ennast maha liigväikesest traadipooli pidurdusest. Võib esineda ka traadirulli liigsuure pidurduse seade korral, mille

tulemusena kuumeneb etteandemehhanismi elektrimootor üle, kaar põleb ebastabiilselt ja keevitustraati põleb voolukontakti külge.

2. Ebaühtlane keevitustraadi etteandmine, mille põhjuseks on kas etteanderullide soonte liiga sügav või madal profiil, tingituna rullide kulumisest või valesst valikust.
3. Ebaühtlane traadi etteandmine, kus etteanderullidest peavooliku traadi kanalisse liikuv traat on kõverdunud või traadi juhttoru ei ole õigel kõrgusel.
4. Keevitustraadi ebaühtlane etteandmine, tingituna traadi kanali ja peavooliku liigsest paindest. Suurenenud takistus traadi liikumisele paindunud kohtades viib traadi pidurdatud etteandmiseni.
5. Voolukontakti kulumisest või liigsuurest avast tingitud elektrilise kontakti halvenemine, mis põhjustab kaare ebastabiilsust ja voolukontakti ülekuumenemist.
6. Ebapiisav keevituskaare gaasikaitse, kus gaasisuudmiku külge kleepunud pritsmed või halvasti kinnitatud gaasisuudmik põhjustab kaitsegaasi keeriseid või õhu juurdeimemist ebatiheda gaasisuudmiku tõttu.
7. Keevituskääre ebastabiilne põlemine, tingituna kas maanduse halvast ühendusest detailidega või maanduskaabli isolatsiooni vigastustest.
8. Keevitustraadi ebaühtlane etteandmine, tingituna liigväikesest survest etteanderullidele.
9. Keevitustraadi deformeerumine ja vasekihi mahakooremine etteanderullide liigsest survest traadile, mis põhjustab voolukontakti kulumist ja keevitustraadi takistatud liikumist keevitustraadikanalis.

Teraste keevitamisel on keevitusparameetrite määramiseks soovitatav kasutada tabelites 4.4 ja 4.5 toodud keevitusparameetreid.



**Tabel 4.6. Keevitusparameetrid süsinikterase põkkõmbuste keevitamisel. Kaitsegaas – segugaas (J.Lukkari, ESAB)**

Lehe paksus, mm	Serva kuju	Lahknemisnurk kraadides	Õhupilu, mm	Keevitusasend	Traadi ø, mm	Traadi etteande kiirus, m/min	Keevitusvool, A	Kaarepinge, V	Keevituskiirus, cm/min
1,0	I	–	0	PA, PG	0,8	3,8	70	18	
1,5	I	–	1,0	PA, PG	0,8	5,2	90	17	80
2,0	I	–	1,0	PA, PG	1,0	4,3	90	18,5	
2,0	I	–	1,5	PG	0,8	7,1	130	18,5	
3,0	I	–	1,5	PA	1,0	4,7	130	19,0	63
3,0	I	–	2,0	PG	1,0	4,7	130	19,0	
4,0	I	–	2,0	PA	1,0	4,8	135	19,0	
5,0	V	50	2,0	PA	1,0	1. 4,3 2. 8,0	125 200	18,5 21,0	
6,0	V	50	2,0	PA	1,0	1. 4,3 2. 8,4	125 205	18,5 21,5	
8,0	V	50	2,0	PA	1,2	1. 3,1 2. 8,1 3. 8,1	135 270 270	18,0 27,5 27,5	
8,0	V	50	2,0	PF	1,0	1. 3,7 2. 3,7	100 100	17 17	

**Tabel 4.7. Keevitusparameetrid süsinikteraste MAG-keevitusel. Nurkõmblused. (J. Lukkari, ESAB)**

a-mööde	Keevitus-asend	Traadi ø, mm	Traadi etteande kiirus, m/min	Keevitus-vool, A	Kaare pinge, V cm/min	Keevitus-kiirus	Läbimite arv
1,5	PA, PB, PG	0,8	7,2	115	18		1
2,0	PA, PB, PG	0,8 0,8	7,3 7,1	130 100	18 19,5	50	1
3,0	PB, PG	1,0 1,0	10,6 9,0	215 210	22,5 21,5		1 1
4,0	PA, PB, PG	1,0 1,2	10,7 6,6	220 220	23 20	27	1 1
5,0	PB, PG	1,2 1,2	9,5 4,2	300 190	29,5 19,5	27	1 3
6,0	PB, PF	1,2 1,0	9,5 4,7	300 115	29,5 17,5	20	1 1
8,0	PB	1,2	8,5	300	29,5	14	3

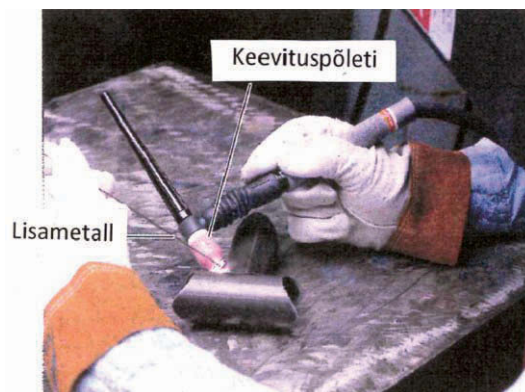
### Kordamisküsimused

1. Mida tähendab lühend „MAG-keevitus“, keevitavad metallid ja tooge tunnusnumber?
2. Mida tähendab lühend „MIG-keevitus“, kasutusala ja tooge tunnusnumber?
3. Loetlege MAG-seadme põhiosad.
4. Millised on MAG –seadmete vooluallikad ja nende tunnusjooned, invertervooluallikad ja sünergiline seade?
5. Palun kirjeldage traadi etteandemehhanismi ülesandeid ja tööpõhimõtet? Milliseid häireid võib esineda mehhanismi töös?
6. Näidake keevituskaare tunnusjoon ja selle põhilised piirkonnad.
7. Näidake graafikutena vooluallika ja keevituskaare tunnusjooned ja keevitamise tööpunkti asukoht sõltuvalt erinevatest teguritest.
8. Mis on termin „voolukontakti kaugus“ ja kuidas seda rakendatakse praktikas?
9. Kirjeldage keevitustraadi klassifikatsioonis (täielikus tähistuses) toodud infot.
10. Kirjeldage keevitaja tegevusi keevituse poolautomaadi häälestamisel.
11. Loetlege MAG-keevituse tüüpilised keevitusdefektid ja nende hindamise meetodid.

## 4.3 TIG -keevitus

### 4.3.1 TIG-keevituse olemus

**TIG-keevitus** ehk sulamatu elektroodiga inertgaasi keskkonnas kaarkeevitus (tähistatud veel lühendiga GTAW) kuulub kaitsegaasis kaarkeevitusprotsesside rühma. Standardile EN 24063 vastav tunnusnumber on 141. Erinevalt teistest kaarkeevitusmeetoditest ei sulata TIG-keevitusel elektroodivarda materjal, kuna volframelektroodi sulamistemperatuur on 3410 °C ja keemistemperatuur 10220 °C. Kaitsegaasidena kasutatakse **argooni** või **heeliumit**, vajadusel ka argooni ning heeliumi segu. Keevitustsüüsi võib olla kas automatiseeritud või käsikaarkeevitus. TIG-käsikaarkeevitus on näidatud joonisel 4.36.



**Joonis 4.36. TIG-käsikeevitus**

Keevituskaar on vähem kontsentreeritud ja väiksema kasuteguriga (0,6), mistõttu ei kasutata TIG-keevitust paksema materjali (üle 5...6 mm) keevitamiseks.

TIG-keevitusega on võimalik keevitada kõiki metalle. Põhiliselt kasutatakse seda õhemate materjalide keevitamiseks (alates materjali paksusest 0,1 mm), mida võimaldab väike keevitusvoolu tugevus. Levinumad on teraste ja kõrglegeerteraste, Al, Cu, Mg, Ni, Ti ja pronkside keevitamine materjali paksusel 0,15...6 mm. Paksema materjali korral väheneb keevituskiirus järsult. TIG-keevitust kasutatakse sageli mitmekihiliste õmbluste korral juurelábimi keevitamiseks, et tagada vastutusrikaste keevisõmbluste kvaliteet.

TIG-keevitusprotsessis võidakse kasutada erinevaid kaitsegaase ja keevitustehnikaid. Nende tunnuste põhjal tähistatakse ka keevitusprotsesse standardi EN 4063 järgi järgmiste tunnusnumbritega:

141 TIG-keevitus käsitsi lisametalli etteandmisega

142 TIG-keevitus ilma lisametallita

143 TIG-täidistraatkeevitus

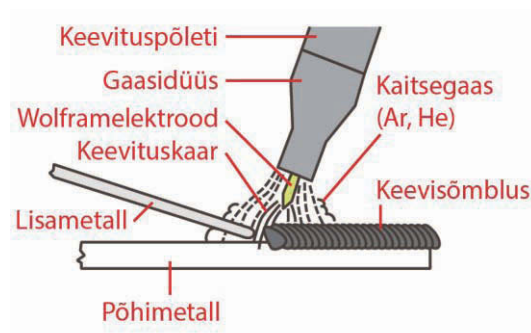
145 TIG-täistraatkeevitus taandava kaitsegaasiga

146 TIG-täidistraatkeevitus taandava kaitsegaasiga ( $H_2$ ,  $Ar + 5\% H_2$ ,  $Ar + 2\% H_2 + NO$ )

147 TAG-keevitus (*tungsten active gas*) – volframelektroodiga aktiivgaasiga kaarkeevitus [4]

### Keevituskaare süütamine

TIG-keevitusel toimub keevituskaare süütamine sarnaselt käsikaarkeevitusega või kasutatakse kõrgpinge- või kõrgsagedusvoolu. Kontaktivabal meetodil antakse elektroodile lühiajaline kõrgsagedusvool, pingega 3000...4000 V sagedusega 0,4...5 MHz. Uuemates seadmetes kasutatakse keevituskaare süütamiseks unipolaarseid kõrgepingelisi, kuni 20 kV vooluimpulsse sagedusega 750 Hz, mis vähendab häireid. Tänu kasutatavatele kaitsegaasidele (Ar, He) on ionisatsioonitingimused kaare tekkimiseks oluliselt paremad. Joonisel 4.37 on toodud TIG-keevituse põhimõtteline skeem.



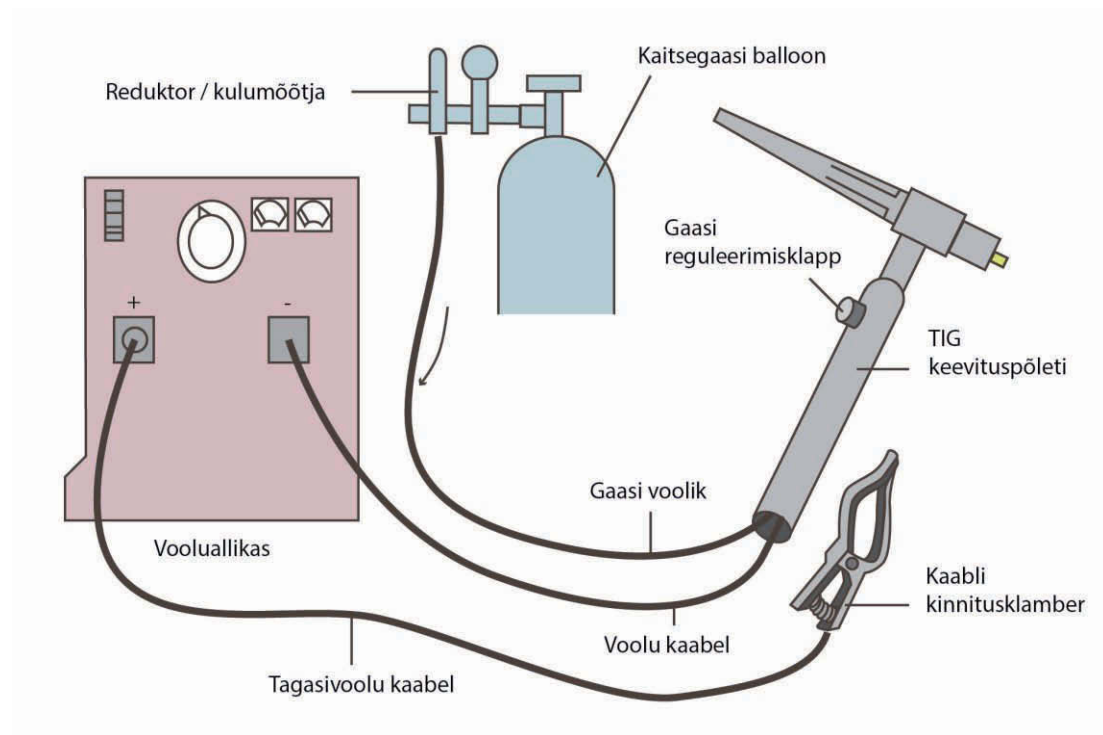
### Joonis 4.37. TIG-keevitus

Sulamatu elektroodiga kaitsegaasis kaarkeevitusega saadakse ilma räbu ja oksiidilisanditeta siledapinnaline keevisõmblus. Teraste keevitamisel kasutatakse päripolaarset alalisvoolu, mis tõstab

elektroodide püsivust. Alumiiniumi- ja magneesiumisulamite keevitamisel kasutatakse vahelduv-  
voolu.

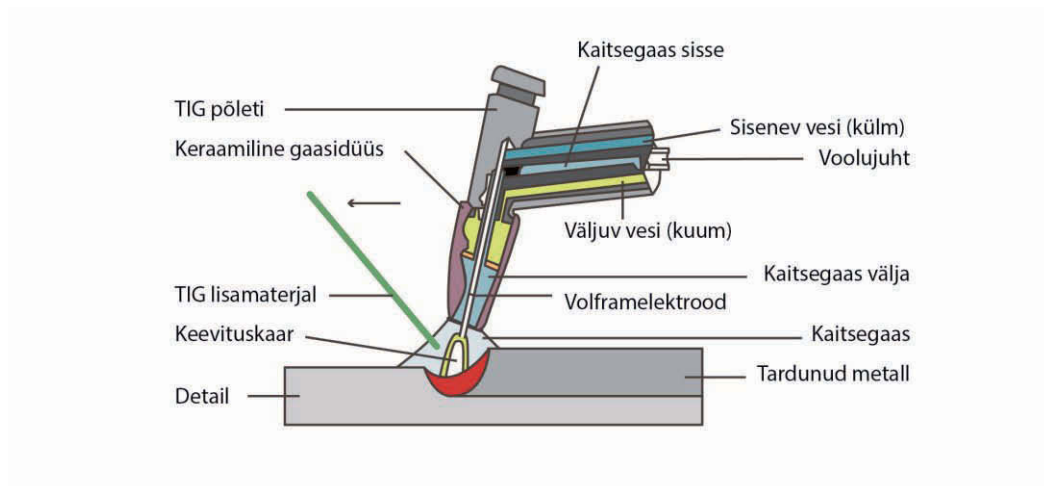
### 4.3.2 TIG-seadme ehitus

TIG-keevitusseade (vt joonis 4.38) koosneb vooluallikast, kaitsegaasiballoonist koos reductoriga, kaitsegaasivoolikust, keevituskaablist, tagasivoolukaablist ja keevituspõletist. Vooluallikana kasutatakse TIG-keevitusel järsult langeva tunnusjoonega toiteallikaid nagu käsikaarkeevituselgi.



**Joonis 4.38. TIG-keevitusseadme komponendid [7]**

Suurematel keevitusvooludel ei piisa põleti jahutamiseks ainult kaitsegaasist või suruõhust ning seepärast on kasutusel ka keevitusseadmed, mis on varustatud vedelikjahutuse plokiga. Vedelikjahutusplakk võib olla keevitusseadmesse sisse ehitatud või paikneda eraldi. Vedelikjahutusega TIG-keevituspõleti ehitus on toodud joonisel 4.39. Jahutusvedelikuna kasutatakse vett või spetsiaalseid inhibiitoreid sisaldavaid vedelikke, et vähendada korrosiooni.



**Joonis 4.39. Vedelikjahutusega TIG-keevituspõleti tööskeem [8]**

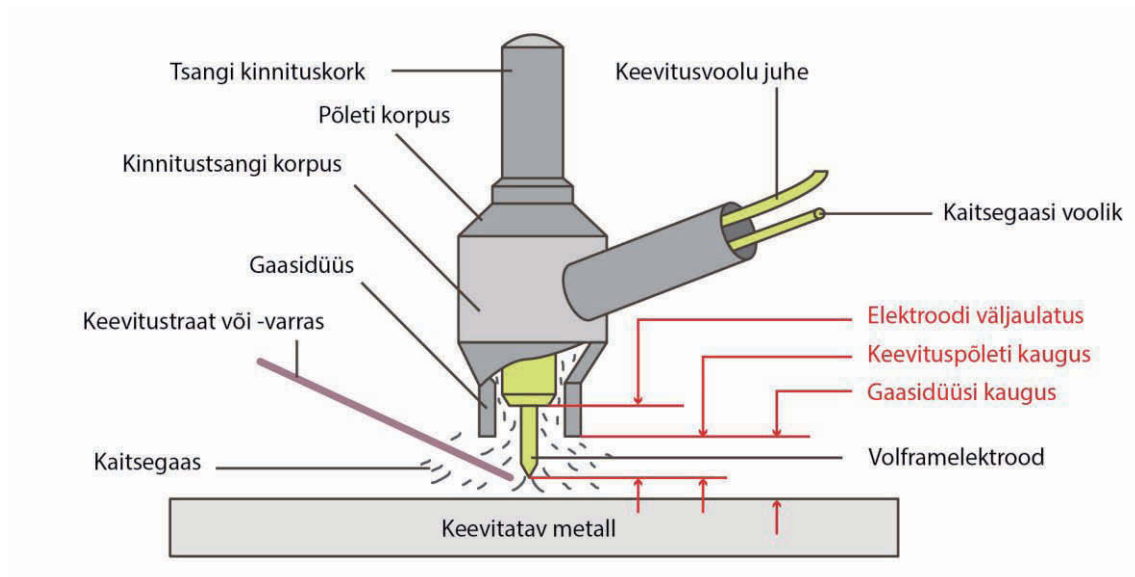
Tabelis 4.8 on toodud TIG-keevituspõletite liigitus jahutusviisi järgi.

**Tabel 4.8. TIG-keevituspõletite liigitus jahutusviisi järgi [3]**

Keevituspõleti kuju	Jahutuse liik	Keevitusvoolu suurus
Normaalne	Kaitsegaasiga jahutatav keevituspõleti	Keevitusvool kuni 200 A
	Vedelikjahutusega keevituspõleti	Keevitusvool alates 160 A
Pikendatu	Kaitsegaasiga jahutatav keevituspõleti	Keevitusvool kuni 200 A
Lühike	Kaitsegaasiga jahutatav keevituspõleti	Keevitusvool kuni 200 A

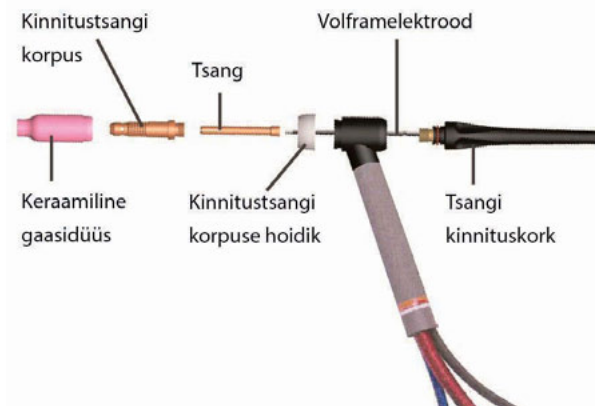
### 4.3.3 TIG-keevituspõleti ehitus ja komponendid

Joonisel 4.40 on toodud TIG-keevituspõleti peamised komponendid. Joonisel on näidatud ka parameetrid, mis on tähtsad keevitusprotsessil. Kvaliteetse keevisõmbluse saamine sõltub protsessi kulgemisest, keevituspõleti kaugusest, voolukontakti kaugusest ning volframelektroodi väljaulatusest.



**Joonis 4.40. TIG-keevituspõleti peamised komponendid ja protsessi kulgu määravad parameetrid [8]**

Joonisel 4.41 on toodud TIG-keevituspõleti põhilised komponendid. Vastavalt keevitatava metalli paksusele ja voolutugevusele komplekteeritakse keevituspõleti järgmised komponendid: gaasidüüs, volframelektrood ja tsangkinniti.



**Joonis 4.41. TIG-keevituspõleti põhilised komponendid [7]**

Joonisel 4.42 on näidatud keevituspõleti koostamiseks vajalike põhiliste detailide komplekt.



**Joonis 4.42. TIG-keevituse põleti vahetatavate detailide komplekt [7]**

Gaasidüüsid (vt joonis 4.42) on valmistatud keraamilisest materjalist. Keraamilisi gaasidüüse kasutatakse voolutugevusel kuni 300 A. Gaasidüüse valmistatakse erineva pikkuse ja kujuga vastavalt keevitustöö vajadustele (piiratud ligipääs, sügavad uured). Volframelektroodi läbimõõdu ja gaasidüüsi vaheline sõltuvus on toodud tabelis 4.4. Gaasidüüsi number näitab düüsi suudme siseläbimõõtu. Gaasidüüsi suudme läbimõõdud antakse millimeetrites või tollides: 6 mm (1/4"), 10 mm (3/8"), 11 mm (7/16"), 13 mm (1/2"), 19 mm (3/4"). Mõnikord tähistatakse gaasidüüsi läbimõõdud järgmiste numbritega: 4, 6, 7, 8 või 12. Need on gaasidüüsi läbimõõdud, mis tuleb korrutada 1/16". Näiteks numbrit 6 korrutades 1/16 saame 6/16 (3/8").

#### 4.3.4 Elektroodid TIG-keevitusel

**Tabel 4.9. Volframelektroodi läbimõõdu ja gaasidüüsi suuruse vaheline seos**

Elektroodi läbimõõt, mm	Gaasidüüsi number	Gaasidüüsi läbimõõt, mm
1,0	4...5	6,5...8
1,6	4...6	6,5...9,5
2,4	6...8	9,5...12,7
3,2	7...8	11,2...12,7
4,0	8...10	12,7...15,9



Elektroodid valmistatakse volframipulbrist pressimise, paagutamise ning sellele järgneva valtsimise teel. Volframelektroode valmistatakse järgmiste pikkustega: 50; 75; 150; 175; 200; 300 mm ning läbimõõdudega: 0,5; 1,0; 1,6; 2,0; 2,4; 3,0; 3,2; 4,0; 6,0; 6,4; 7,0; 8,0; 10,0 mm.

Keevitustehnoloogiliste omaduste parandamiseks, sulamistemperatuuri tõstmiseks ning keevitus-elektroodi püsivuse parandamiseks lisatakse puhtale volframile haruldaste muldmetallide tseeriumi ( $\text{CeO}_2$ ), lantaani ( $\text{La}_2\text{O}_3$ ), tooriumi ( $\text{ThO}_2$ ) ja tsirkooniumi ( $\text{ZrO}_2$ ) okside. Tooriumiga legeeritud elektroodide sulamistemperatuur on  $4000\text{ }^\circ\text{C}$  ning neid kasutatakse põhiliselt alalisvooluga keevitamisel. Tsirkooniumiga legeeritud volframelektroodide sulamistemperatuur on  $3800\text{ }^\circ\text{C}$  ja see parandab elektronide emissiooni ning seega kaare süütamist. Tsirkooniumi sisaldavad elektroodid sobivad ka vahelduvvooluga keevitamiseks ja elektroodi püsivus on suurem kui legeerimata volframelektroodil. Lantaaniga legeeritud volframelektroodide sulamistemperatuur on  $4200\text{ }^\circ\text{C}$  ja need sobivad nii alalis- kui ka vahelduvvooluga keevitamiseks. Keevituselektroodid markeeritakse erinevat värvi rõngaskoodiga (vt tabel 4.10).

**Tabel 4.10. Elektroodide margid ja värvikoodid**

Elektroodi tähis	Värvikood	Legeeriv komponent	Legeeriva elemendi sisaldus %
WP	Roheline	-	0
WT 10	Kollane	Tooriumoksiid	0,9 ... 1,2
WT20	Punane	Tooriumoksiid	1,8 ... 2,2
WT30	Lilla	Tooriumoksiid	2,8 ... 3,2
WT40	Oranž	Tooriumoksiid	3,8 ... 4,2
WT50	Sinine	Tooriumoksiid	4,8 ... 5,2
WZ4	Pruun	Tsirkooniumoksiid	0,3 ... 0,5
WZ8	Valge	Tsirkooniumoksiid	0,7 ... 0,9
WL10	Must	Tooriumoksiid	0,9 ... 1,2

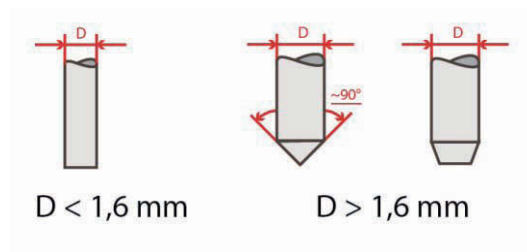
Volframelektroodi läbimõõt valitakse sõltuvalt keevitatavast materjalist ja selle paksusest ning keevitusvoolu liigist (alalis- või vahelduvvool). Nende tingimuste põhjal määratakse tabelitest keevitusvoolu tugevus, mida täpsustatakse proovikeevitustega. Tabelis 4.11 on toodud soovitatavad keevitusvoolu suurused standardi EN 26848 järgi.

**Tabel 4.11. Keevitusvoolu tugevus sõltuvalt elektroodi läbimõõdust**

Elektroodi läbimõõt (mm)	Alalisvool DC - (A)		Alalisvool DC + (A)		Vahelduvvool AC (A)	
	Puhas volfram	Legeeritud volfram	Puhas volfram	Legeeritud volfram	Puhas volfram	Legeeritud volfram
0,5	2-20	2 – 20	-	-	2 – 15	2 – 15
1.0	10 – 75	10 – 75	-	-	15 – 55	15 – 70
1,6	40 – 130	60 – 150	10 – 20	10 – 20	45 – 90	60 – 125
2,0	75 – 1180	100 – 200	15 – 25	15 – 25	65 – 125	85 – 160
2,5	130 – 230	170 – 250	17 – 30	17 – 30	80 – 140	120 – 210
3,2	160 – 310	225 – 330	20 – 35	20 – 35	150 – 190	150 – 250
4,0	275 – 450	350 – 480	35 – 50	35 – 50	180 – 260	240 – 350
5.0	400 – 625	500 – 675	50 – 70	50 – 70	240 – 350	330 – 460
6,3	550 - 875	650 - 950	65 – 100	65 – 100	300 - 450	430 - 575

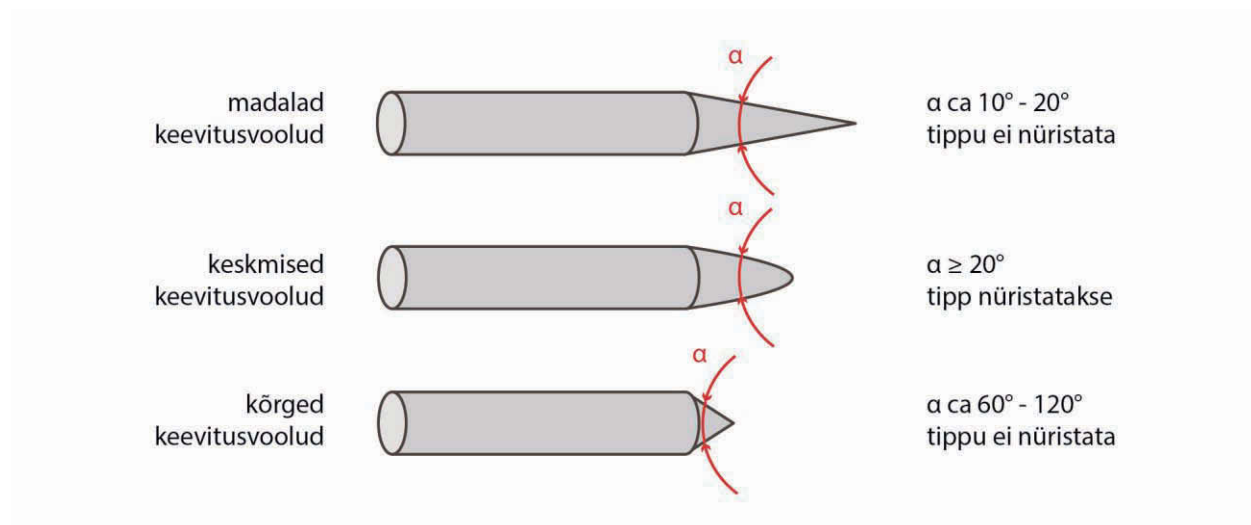
### Volframelektroodi otsa ettevalmistus

Volframelektrood (W) on ette nähtud alumiiniumi, magneesiumi ja nende sulamite keevitamiseks vahelduvvooluga, mis tagab hea kaarestabiilsuse nii argooni- kui ka heeliumikeskkonnas. Piiratud temperatuurikoormuse tõttu töödeldakse puhtast volframist elektroodi ots sfäärikujuuliseks. Joonisel 4.44 on toodud volframelektroodi terituse kuju alumiiniumi ja selle sulamite keevitamiseks.



**Joonis 4.43. Volframelektroodi kuju alumiiniumi ja selle sulamite keevitamiseks [3]**

Volframelektrood WT 20 (tooriumiga legeeritud) on ette nähtud suure paksusega materjalide – süsinik-, madallegeer- ja roostevabade teraste, vase, titaani ja nende sulamite – keevitamiseks. Elektroodi teritusnurga muutmiseks on võimalik keevitada erineva paksusega metalle (vt joonis 4.44).



**Joonis 4.44. Volframelektroodide teritustusnurga sõltuvus keevitusvoolust [4]**

Volframelektrood WL10 (legeeritud lantaanoksiidiga) on ette nähtud roostevabade ja teiste legeerteraste keevitamiseks. Keevitada võib alalis- või vahelduvvooluga. Vahelduva sinusoidse vooluga keevitamisel peab elektroodi ots olema sfäärilise kujuga.

Keevitamisel tuleb volframelektroode puhastada mustusest ja rasvast. Kui volframelektroodi ots puutub kokku keevisvanni või lisametalliga, tuleb elektrood eemaldada ning uuesti teritada. Elektroodiga kokku puutunud lisamaterjali oksüdeerunud ots tuleb lõiketangidega maha lõigata.

Õige keevitusvoolu valiku üle on võimalik otsustada volframelektroodi otsa kuju järgi (vt tabel 4.12).

**Tabel 4.12. Keevitusvoolu suuruse mõju volframelektroodi kujule [3]**

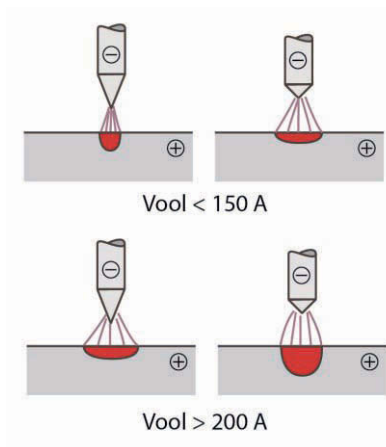
Voolu liik	Volframelektrood	Väike keevitusvool	Normaalne keevitusvool	Liiga suur keevitusvool
Alalisvool	tooriumoksiidiga WT 20			
Vahelduvvool	puhas W			
Vahelduvvool	tooriumoksiidiga WT 20			

### Volframelektroodi väljaulatus

Volframelektroodi väljaulatus gaasidüüsis sõltub elektroodi läbimõõdust ja voolutüübist (alalis- või vahelduvvool). Vahelduvvoolu korral peab elektroodi väljaulatus olema **1 kuni 1,5 elektroodi läbimõõtu** ning alalisvoolu korral **2 kuni 3 elektroodi läbimõõtu**.

### Keevitusvoolu tugevuse mõju keevisõmbelse kujule

TIG-keevitusel sõltub läbikeevitussügavus keevitusvoolu suurusest ning volframelektroodi läbimõõdust. Joonisel 4.45 on toodud keevitusvoolu suuruse ning keevituselektroodi läbimõõdu mõju läbikeevitussügavusele ning keevisõmbelse laiusele.

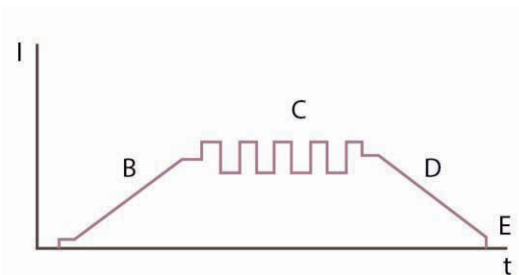


**Joonis 4.45. Keevisõmbelse kuu sõltuvus keevitusvoolu suurusest ning elektroodi läbimõõdust [4]**

## TIG-keevituse ajagraafik

TIG-keevitusel muudetakse keevitusvoolu ajas kindla funktsiooni järgi, mida nimetatakse ajagraafikuks ehk tsüklogrammiks (vt joonis 4.46). TIG-seade seadistatakse ja reguleeritakse järgmiselt:

- gaasi eelvool ja vooliku läbipuhumine (joonisel näitamata),
- voolu tõus lineaarse funktsiooni järgi metalli ettekuumutamiseks ja elektroodi kulu vähendamiseks – B,
- keevitusvool – C,
- keevitusvoolu sujuv vähendamine, õmbluse kraatri täiskeevitamine – D,
- gaasi järelvool õmbluse kaitsmiseks oksüdeerimise eest – E.



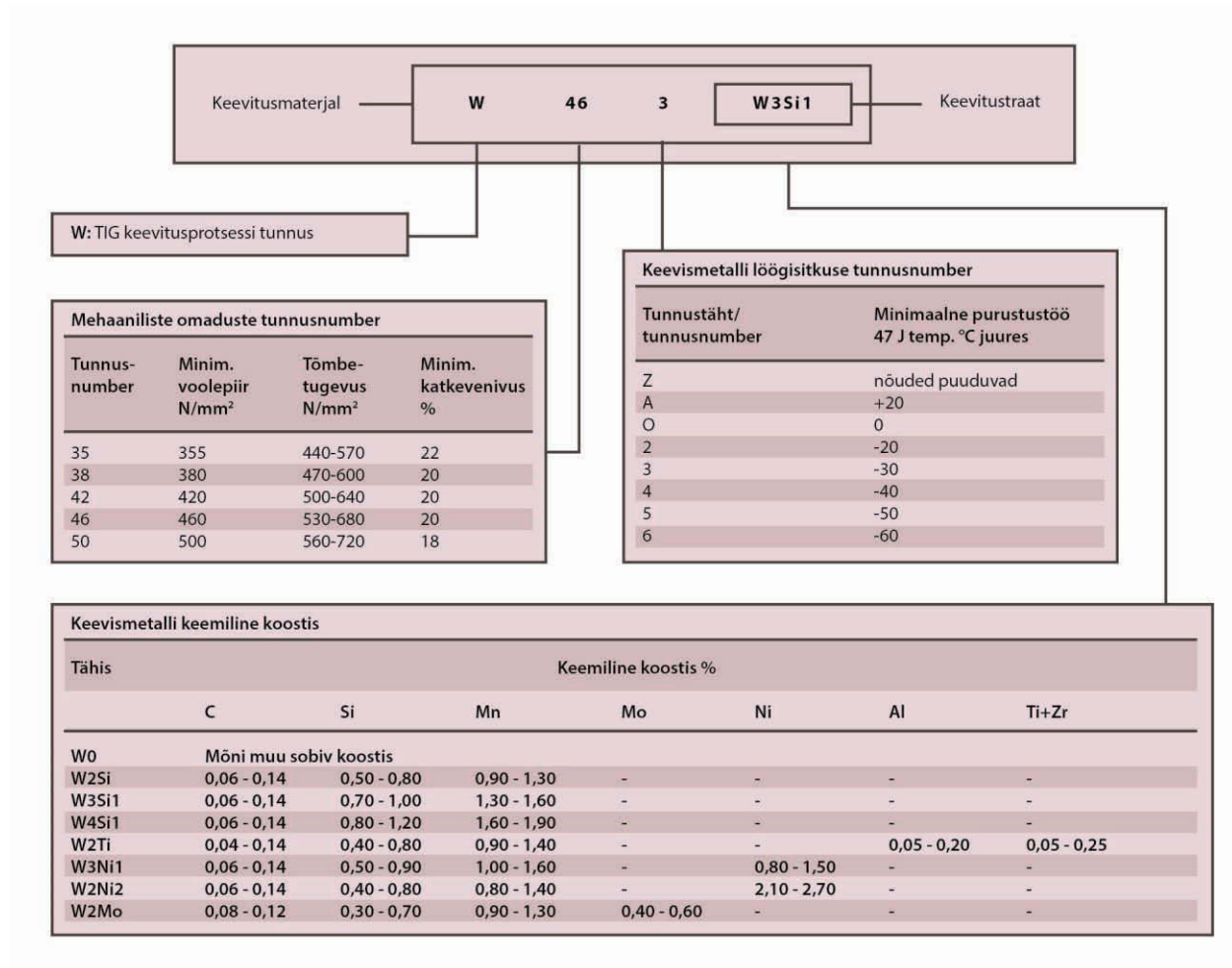
Joonis 4.46. TIG-keevituse ajagraafik

### 4.3.5 TIG-keevituse lisametallid

Keevitusvardad on määratud koostisega, valtsitud ja seejärel kindla läbimõõdu saamiseks tõmmatud ning tükeldatud lisametall. Keevitusvarraste pikkus lisaine käsitsi etteande puhul on põhiliselt 1000 mm ja levinumad läbimõõdud on 0,5; 1,0; 1,6; 2,0; 2,4; 3,0; 3,2; 4,0; 5,0; ja 6,0 mm. Traadi mehhaniseeritud etteande korral kasutatakse samu lisamaterjale mida MIG/MAG keevituselgi. Teraste gaakeevituse lisamaterjalid ei sobi TIG-keevituseks, kuna nende Si ja Mn sisaldus on liiga väike. TIG-keevitusvardad on legeritud räni ja mangaaniga 0,6–1,1%.

Mitteleeger- ja peenterateraste TIG-keevituse lisametallide standardile EN 1668 vastav tähistus on toodud tabelis 4.13.

**Tabel 4.13. Lisametallide tähistus**



Soovitud keevitustulemuse saamisel on üheks oluliseks teguriks õige lisametalli kasutamine. Teraste lisaaine valikul tuleb lähtuda järgmistest teguritest:

- Keevitatava põhimaterjali koostis.
- TIG-keevitusprotsessi eelis on see, et legeerelemendid ei põle protsessi käigus välja, seega saab lisametall olla sama koostisega nagu põhimaterjal.
- Keevisõmbluse tugevusomadused, voolepiir ja löögisitkus peavad olema vähemalt sama suured kui põhimaterjalil.

- Keeviskonstruktsiooni kasutustingimused, näiteks korrosioonikindlus, tuleb tagada lisamaterjali valikuga. See puudutab põhiliselt roostevabasid ja happekindlaid teraseid.
- Lisametalli läbimõõt valitakse põhimaterjali paksuse ja keevituspilu suuruse järgi.
- Liiga väike lisametalli läbimõõt raskendab keevitust keevitusvarda (traadi) suure etteandekiiruse tõttu ning tekitab keevisõmbluse vaegkõrgust ja läbikleepimatust.

Roostevabade teraste lisamaterjalide tähistus on sarnane mittelegeerteraste tähistusega ja vastab standardile EN 12072.

Roostevaba terase keevitamisel kasutatakse parema läbikleepituse ja korrosioonikindluse saamiseks juuregaasi, mis juhitakse keevisõmbluse alla. Juuregaasi kasutatakse roostevabast terasest torude keevitamisel, et saada oksüüdidest puhas keevisõmbluse sisepind.

Alumiiniumi TIG-keevituse lisamaterjalid vastavad standardile EN 18273. Nii nagu teiste metallisulamite keevitamisel, on ka alumiiniumsulamite puhul tähtis teada, kas see sisaldab magneesiumi või räni.

#### **4.3.6 Kaitsegaasid TIG-keevitusel**

Kaitsegaas kaitseb keevisvanni õhus oleva hapniku ja lämmastiku kahjuliku mõju eest ning mõjutab kaarleegis toimuvaid protsesse ning keevisõmbluse kuju.

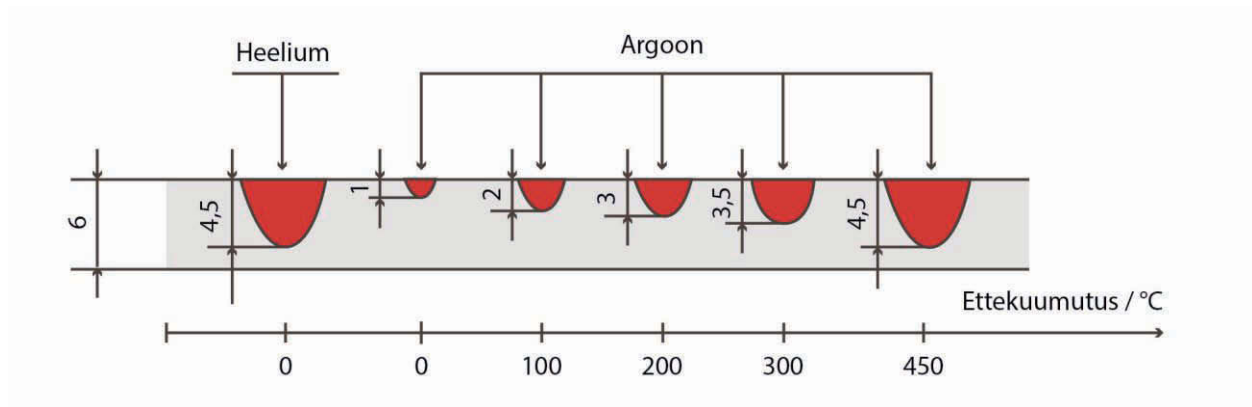
TIG-keevitusel kasutatakse kaitsegaasidena põhiliselt argooni ja heeliumi.

Argoon (Ar) on kõige rohkem kasutatav TIG-kaitsegaas, millel on järgmised omadused:

- ioniseerub hästi ning keevituskaar moodustub hõlpsasti,
- on 1,4 korda suurema tihedusega kui õhk ning seepärast kaitseb keevisõmblust eriti hästi allasendis,
- suhteliselt madal hind.

Heelium (He) kaitseb keevituskaart paremini kui argoon ning suurema voolutugevuse korral on põhimaterjali sulatamiseks vajalik temperatuur märgatavalt kõrgem kui argoonil. TIG-keevitusel on heeliumi kulu 2...3 korda suurem kui argoonil, mis tuleneb heeliumi väikesest tihedusest

( $0,167 \text{ kg/m}^3$ ). Heeliumit kasutatakse selle kõrge hinna tõttu ainult erandjuhtudel alumiiniumi- ja vasesulamite keevituseks, kui on vaja suurt keevituskiirust ning läbikeevitussügavust, mille tõttu puudub vajadus kasutada eel- ja järelkuumutust. Joonisel 4.47 on toodud kaitsegaaside ja ettekuumutuse mõju vasesulamite läbikeevitussügavusele keevitusvoolul 300 A.



**Joonis 4.47. Kaitsegaasi mõju vasesulamite läbikeevitussügavusele [4]**

Kasutades kaitsegaasina heeliumit, saab 300 A keevitusvooluga sama läbikeevitussügavuse kui argooniga, kui tuleb kasutada täiendavat ettekuumutust kuni  $450 \text{ }^\circ\text{C}$ .

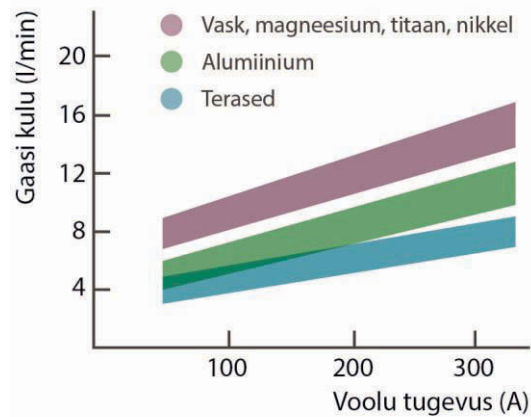
TIG-keevitusel kasutatavad gaasid liigitatakse standardi EN 439 järgi kahte rühma: I = inertgaasid ja R = taandavad gaasid.

Argoonipõhiseid segugaase (Ar + He) kasutatakse peamiselt alumiiniumi- ja vasesulamite keevitamiseks. Firma AGA registreeritud kaubamärgid on HELON 30 (Ar 30% + He 70%), HELON 50 (Ar 50% + He 50%) ja HELON 75 (Ar 25% + He 7%).

Argooni (Ar) ja vesiniku ( $\text{H}_2$ ) põhised segugaasid on taandavad gaasid. AGA segugaasi MISON H2 (Ar + 2%  $\text{H}_2$  + 0,03% NO) kasutatakse roostevaba austeniititrase TIG-keevituseks.

Joonisel 4.48 on graafiliselt toodud erinevate keevitatavate materjalide keevitamiseks vajalikud kaitsegaasikogused erinevatel voolutugevustel.





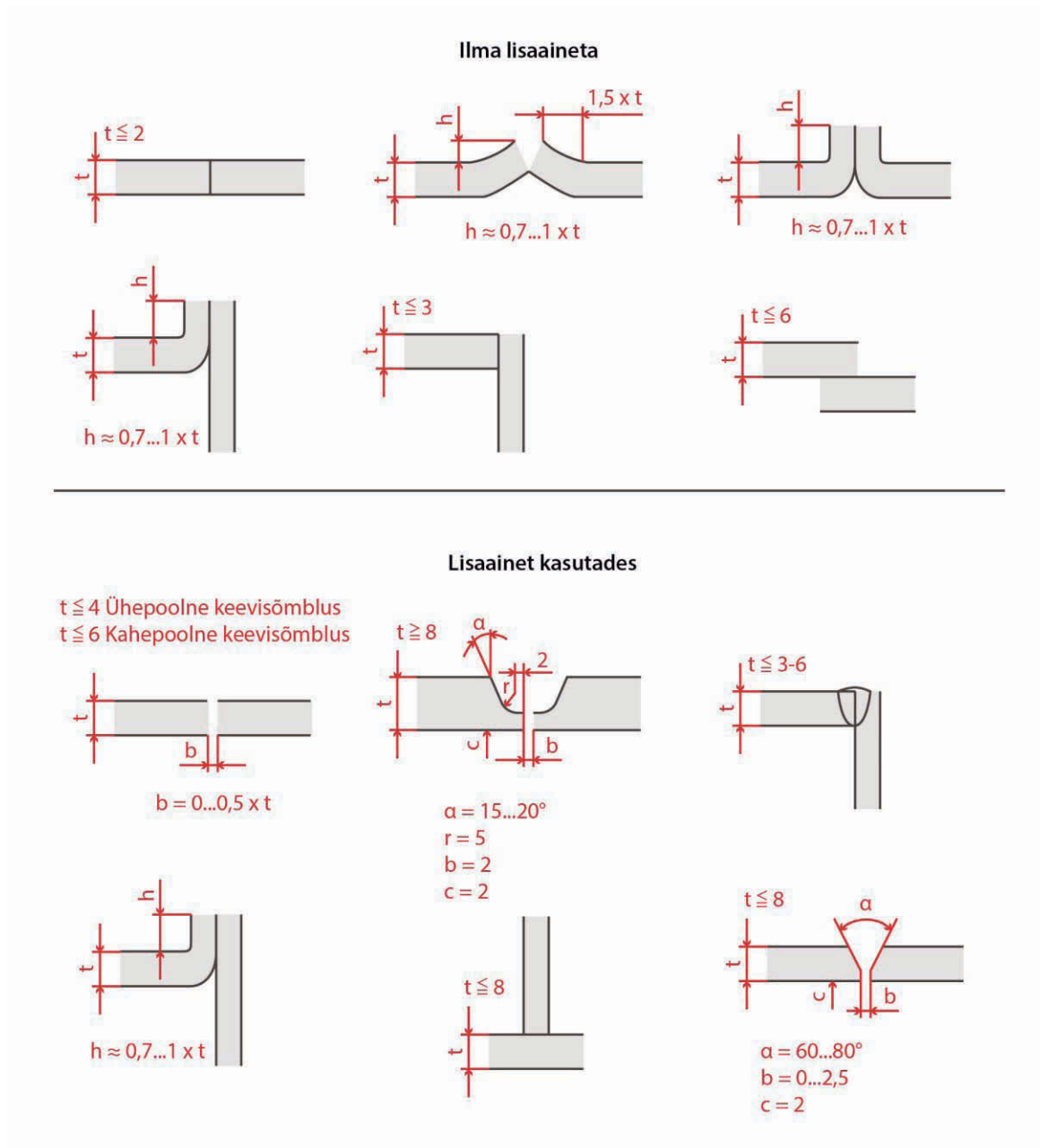
**Joonis 4.48. Voolutugevuse ja kaitsegaasi kulu vaheline seos [4]**

#### 4.3.7 TIG-keevituse sooritustehnika

TIG-keevitusega on võimalik saada eriti kõrge kvaliteediga keevisõmblusi, kuid ta on tundlik puhastamata pindade suhtes. Seepärast on pindade ettevalmistus väga tähtis ning ka lisametallivardad või -traat tuleb hoolikalt enne keevitust puhastada.

##### Keevisliited ja servade ettevalmistus

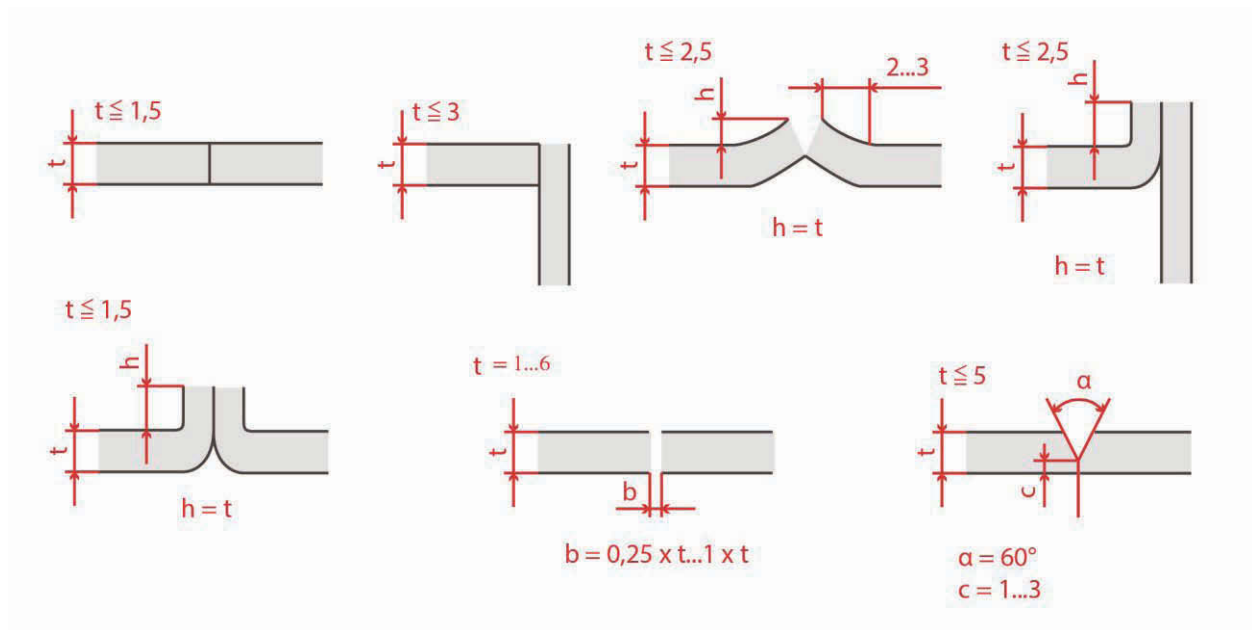
TIG-keevitusel kasutatakse sarnaseid keevisliidete tüüpe ning servade ettevalmistust kui teistel keevitusprotsessidelgi. Keevisliite tüübi valikul ning servade ettevalmistusel tuleb pöörata tähelepanu põhimaterjalile ja TIG-sooritustehnikale. Enamasti kasutatakse TIG-keevitusprotsessi roostevabade teraste ja alumiiniumisulamite keevituseks. Nimetatud materjalide soojuspaisumistegur on suur ja seetõttu tuleb valida selline moodus, et soojuspaisumine ei kahjustaks keevisõmblust ega keevisliidet. TIG-keevitusel võib keevitada lisametalliga või ilma, see sõltub keevisliite kujust ning servade ettevalmistusest. Joonisel 4.49 on toodud roostevaba terase servade ettevalmistus ilma lisamaterjali kasutamata ning lisamaterjali kasutades.



**Joonis 4.49. Roostevaba terase TIG-keevitusel kasutatav servade ettevalmistus [4]**

Õhukesi materjale võib keevitada lisamaterjali kasutamata ning ilma õhupiluta. Keevitatava materjali paksuse suurenedes tuleb jätta ka pilu. Peamiselt kasutatakse paksemate materjalide keevitamisel V-kujulist serva. Kui esimene keevituslõhm tehakse ilma lisamaterjali kasutamata, peaks servad olema ette valmistatud U-kujuliselt. Keevitatava materjali servade ettevalmistus on antud standardiga EN 29692.

Alumiiniumi TIG-keevitusel kasutatav servade ettevalmistus on toodud joonisel 4.50.



**Joonis 4.50. Alumiiniumisulamite TIG-keevitusel kasutatav servade ettevalmistus [4]**

### Keevitusvoolu reguleerimine

Keevitusvoolu suuruse valikul erinevatele keevitatavatele materjalidele võib anda järgmised juhtarvud:

- terase alalisvooluga (DC) keevitamisel päripolaarse vooluga (elektrood on ühendatud miinuspoolusega) on läbikeevitussügavus  $1 \text{ mm}/45 \text{ A}$ ,
- alumiiniumi keevitamisel vahelduvvooluga (AC) on läbikeevitussügavus  $1 \text{ mm}/50 \text{ A}$ .

Soovitavad keevitusvoolud õhukeste materjalide keevitamiseks, kui kasutatakse I-kujulist servade ettevalmistust, on järgmised:

- roostevaba teras: keevitusvool ( $I$ ) =  $35 \dots 45 \times t$ ,
- alumiiniumisulamid: keevitusvool ( $I$ ) =  $40 \dots 45 \times t$ , kus  $t$  on keevitatava materjali paksus.

## **Keevituskiirus**

Keevituskiirus sõltub keevitustingimustest ning peab olema selline, et keevitatav metall jõuaks piisavalt sulada ning moodustuks nõuetele vastav keevisõmblus. Liiga suur keevituskiirus põhjustab servade kokkusulamatust ehk liitevigu ja liiga väike keevituskiirus põhjustab keevituskoha liigset kuumutamist, mille tagajärjeks on metalli tera kasvamine ning jääkpingete suurenemine ja seega ka deformatsioonid. Sobiv keevituskiirus TIG-käsikaarkeevitusel on 10–30 cm minutis.

## **Kaitsegaasi kulu seadistamine**

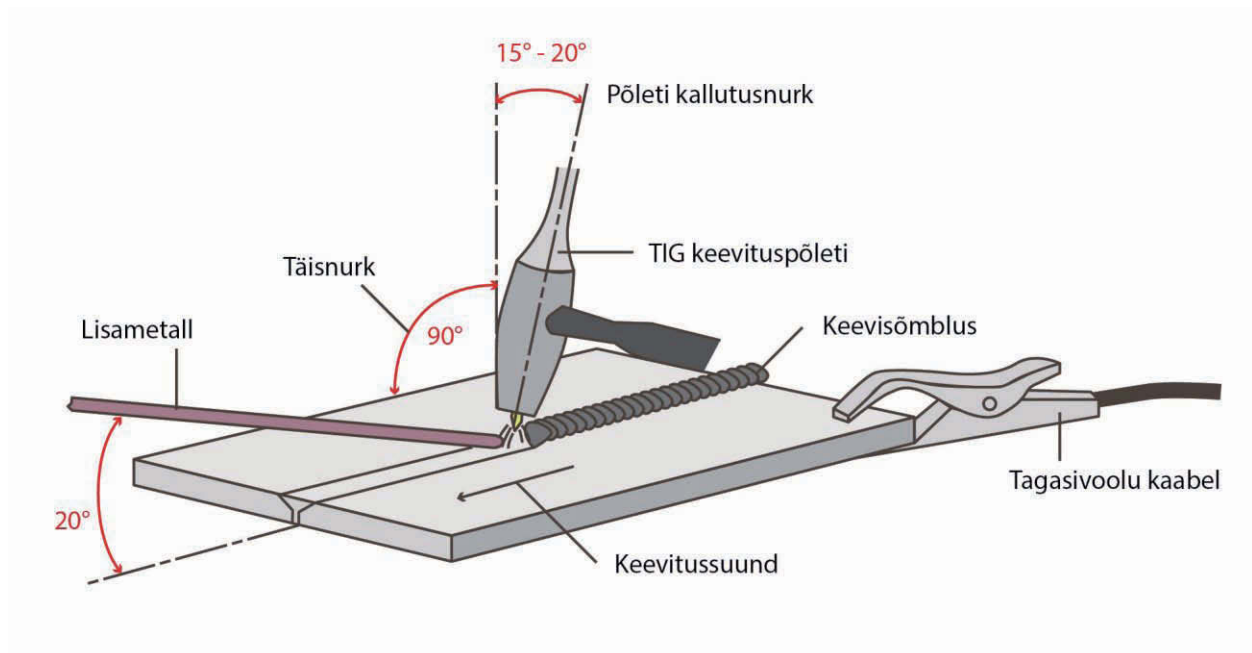
Kaitsegaasi kulu määravad järgmised tegurid: kaitsegaasi tüüp, keevitatav põhimaterjal, keevitusvoolu suurus, liidetavate servade kuju, gaasidüüsi suurus ning keevituskoha tingimused. Tüüpiline gaasikulu argoonile on 5–10 liitrit minutis. Heeliumipõhiste gaaside kulu on 2–3 korda suurem.

TIG-keevituskaare kustutamise järel sulgub gaasiklapp mõningase hilinemisega, et kaitsta maksimaalselt keevisõmblust ja kuuma volframelektroodi oksüdeerumise eest. Seepärast toimub kaitsegaasi klapi sulgemine 0–30 sekundi pärast. Tüüpiline gaasikaitse kestab 5–15 sekundit.

Mõningates TIG-keevitusseadmetes on võimalus avada kaitsegaasi klapp ka enne keevituskaare süütamist, et kaitsta paremini keevitatavat metalli. Enamasti on see aeg enne kaare süütamist 0–2 sekundit.

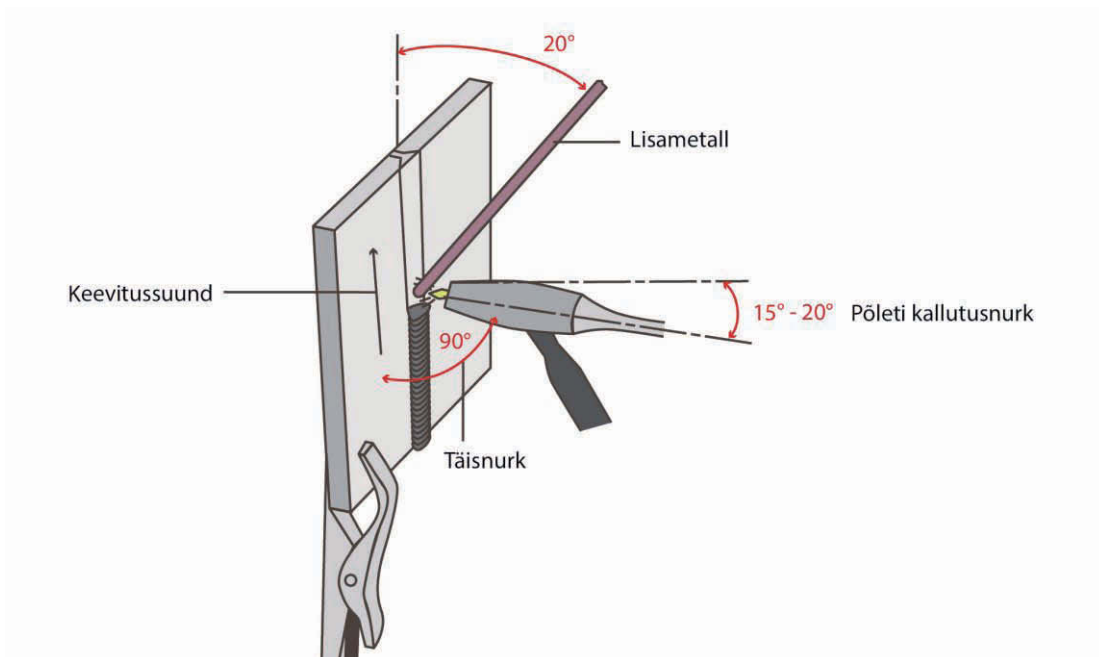
## **Keevitamise sooritustehnika**

TIG-keevitust kasutatakse enamasti õhukese põhimaterjali ja torude keevitamiseks. See nõuab keevitajalt täpset ja õiget käte liikumist. Keevituse sooritus õigete keevitusvõtetega on kindlate piirjoontega ning selgesti nähtav, kuna räbu ja pritsmeid ei teki. Keevituse lisametalli antakse keevituspõleti liikumissuuna ette põletit mitte hoidva käega. Keevituskärgi süütamise järel tuleb keevituspõletit kallutada 70...80 kraadi. Joonisel 4.53 on näidatud keevituspõleti kaldenurk ning lisametalli ettendenurk ja keevituspõleti liikumissuund.



**Joonis 4.51. TIG-keevituspõleti ja lisametalli kallutusnurgad ning keevituspõleti liikumissuund [7]**

Joonisel 4.52 on näidatud TIG-keevituse vertikaalõmbluste keevitustehnika ja keevituspõleti liikumissuund.



**Joonis 4.52. Vertikaalõmbluste keevitustehnika [7]**

TIG-keevituse alustamine lisamaterjaliga või ilma on sarnane. Sobiv keevituskaare pikkus on 1,5 elektroodi läbimõõtu ning mitte üle 6 mm. Lisametalli antakse keevitustsooni 10–20° nurga all. Lisametalli etteandmist võib alustada, kui läbisulatus on alustuskohas piisavalt sügav.

Teraste keevitamisel antakse lisametalli pidevalt ehk keevitusvarda ots on keevisvannis.

Alumiiniumisulamite keevitamisel antakse lisametalli lühikeste edasi-tagasi liikumistega keevisvanni ette. Lisametalli tilga eraldumise järel tõmmatakse lisametallivarrast veidi tagasi, kuid mitte kaugemale kaitsegaasitsoonist.

TIG-keevitusel tuleb jälgida, et lisametall ei puutuks kokku elektroodiga või vastupidi.

Keevitusvoolu, keevituskiiruse ning lisametalli etteandega pannakse paika läbikeevitussügavus. Keevitusvool tuleb valida selline, et keevituskiirus oleks ühtlane ning ilma läbipõlemiseta. Keevituskiiruse kasvades läbikeevitus väheneb ja keevituskiiruse vähenedes see suureneb. Ka lisametalli etteandega saab muuta läbikeevitussügavust. Liigne lisametalli ettendmine jahutab keevisvanni ning vähendab läbikeevitust.

#### **TIG-keevituse olulised punktid:**

- Kasuta vahelduvvooluga keevitades legeerimata volframelektroodi.
- Alalisvooluga keevitades kasuta legeeritud volframelektroodi.
- Alalisvooluga keevitades peab keevituspõleti olema ühendatud miinuslkemiga (päripolaarne keevitusvool).
- Kasuta õige läbimõõduga elektroode.
- Väikse läbimõõduga elektroodid tagavad sügavama läbisulatus suurema voolutiheduse tõttu, kuid kuumenevad rohkem.
- Keevituselektroodi otsad tuleb teritada õigesti.
- Keevita lühikaarega (ligikaudu 3 mm).
- Seadista õige kaitsegaasikulu.
- Kasuta sobivate läbimõõtudega lisametalli.

- Kasuta õige tumedusega keevitusmaske.
- Ära kasuta TIG-keevitusel neid lisametalle, mida kasutatakse gaaskeevitusel.
- Ära kasuta üle aasta vanasid alumiiniumisulamite vardaid ja traate keevisõmbluste puhul.

### **Kordamisküsimused**

1. Mida tähendab TIG-keevitus?
2. Millised on TIG-keevitusel kasutatavad kaitsegaasid?
3. Miks kasutatakse TIG-keevitusel sulamatut elektroodi?
4. Kuidas toimub TIG-keevitusel kaare süütamine?
5. Millised on TIG-keevituse eelised?
6. Millised on TIG-keevituse puudused?
7. Kas TIG-keevitusel toimub lisamaterjali etteandmine ainult käsitsi?
8. Millise polaarsusega toimub TIG-keevitus?
9. Milliseid vooluallikaid kasutatakse TIG-keevitusel?
10. Millistest komponentidest koosneb TIG-keevitusseade?
11. Millal kasutatakse TIG-keevitusel vedelikjahutust?
12. Millistest komponentidest koosneb keevituspõleti?
13. Millest sõltub keevituselektroodi valik?
14. Millest sõltub gaasidüüsi valik?
15. Milliste komponentidega legeritakse volframelektroode?
16. Kuidas mõjutab elektroodi teritusnurk keevitusprotsessi?
17. Miks ja millal kasutatakse juuregaasi?
18. Kuidas mõjutab keevitatava materjali ettekuumutus läbikeevitusügavust?

## 4.4 Gaaskeevitus ja gaasjootmine

### 4.4.1 Gaaskeevituse olemus

**Gaaskeevitus** on keemilisel reaktsioonil põhinevate sulakeevitusprotsesside üldnimetus, kus energiaallikana kasutatakse hapniku ja põlevgaasi segu põlemise soojust. Rahvusvaheliselt nimetatakse neid keevitusprotsesse hapnik-põlevgaaskeevituseks, kus liidetavate detailide servad sulatakse kokku kõrgetemperatuuril gaasileegiga, kasutades vajadusel lisametalli. Üldjuhul on tegu käsikaarkeevitusega ning keevitamisel ei rakendata survejõudu.

Enamlevinud on hapnik-atsetüleenkeevitus, kus põlevgaasina kasutatakse atsetüleen (etüüni  $C_2H_2$ ). Põlevgaasina võib veel kasutada vesinikku, looduslikku gaasi, propaani või butaani.

Gaaskeevituse eeliseks on võimalus keevitada kõigis ruumiasendites erinevaid keevisõmbluse tüüpe. Erineva paksusega materjalide keevitamiseks on võimalus reguleerida keevitusenergiat sobivate mõõtmetega suudmikku ja düüsi valides. Saab keevitada kitsastes tingimustes või halvasti ligipääsevates kohtades, näiteks torustike suhteliselt õhukest materjali. Keevisõmblus on keevitajale hästi jälgitav. Gaaskeevitusseadmed on suhteliselt odavad ning kergesti teisaldatavad.

Gaaskeevituse puuduseks on väike läbisulatusvõime, mille tõttu on keevitatava materjali paksus piiratud (4...6 mm). Gaaskeevitusel on võrdlemisi madal tootlikkus ning kasutegur (30...60%) ja suured kulutused keevitusgaasidele. Gaaskeevitust kasutatakse peamiselt remonttöödel. Gaasileeki kasutatakse energiaallikana jootmisel, keevitustoodete leekõgvendamisel ja metalli sulatamiseks termolõikamisel.

### 4.4.2 Gaaskeevituse gaasid

Gaaskeevituse põlevgaaside hulka kuuluvad atsetüleen, propaan, looduslik gaas, vesinik, samuti bensiini- ja petrooleumiaurud.

#### Atsetüleen

Atsetüleen on põhiline metallide gaaskeevitamisel ja -lõikamisel kasutatav gaas. Atsetüleen ( $C_2H_2$ ) on süsiniku ja vesiniku keemiline ühend. Normaaltemperatuuril ja -rõhul on tehniline



atsetüleen värvitu, terava küüslaugulõhnaga gaas, mille kestev sissehingamine põhjustab iiveldust, peapööritust ning isegi mürgitust. Atsetüleen on plahvatusohtlik 0,15...0,2 MPa rõhu all ning plahvatab sädemest või leegist, samuti kiirel kuumutamisel temperatuurini, mis ületab 200 °C. Temperatuuril 530 °C toimub plahvatuslik atsetüleeni lagunemine. Kõige plahvatusohtlikum on atsetüleeni ja õhu segu, mis sisaldab 7...13% atsetüleeni.

Vaskoksiidi olemasolu vähendab atsetüleeni isesüttimise temperatuuri kuni 240 kraadini. Kindlas vahekorras reageerib atsetüleen vasega, moodustades plahvatusohtlikke ühendeid. Seepärast on atsetüleeniseadmete valmistamisel kategooriliselt keelatud kasutada sulameid, mis sisaldavad rohkem kui 70% vaske.

Gaaskeevitamiseks tarnitakse üldjuhul atsetüleen balloonides 15-baarise rõhu all (1,5 MPa). Atsetüleeni plahvatusohtlikkuse vähendamiseks lahustatakse seda atsetoonis. Atsetüleeniballoon on täidetud 8% massist urbse materjaliga (aktiivsöe ja pimsskiviga), 41% atsetooniga, 36% atsetoonis lahustunud atsetüleeniga. Lisaks jäetakse balloonis 15% varu gaasi paisumiseks. Balloonides olevate gaaside rõhu alandamiseks ja gaasikoguse täpseks ja stabiilseks reguleerimiseks kasutatakse balloonide ventiilide külge kinnitatud gaasireduktoreid. Atsetüleeni- ja hapniku-balloonide värvidega tähistus on toodud joonisel 4.53.

## Värvidega tähistus

DIN EN 1089-3 (2004-06)

Ballooni krae värviga tähistamist kasutatakse täiendava infona gaaside omaduste kohta. See on paremini äratuntav, kui ohtlike ainete märgis ei ole kaugelt näha. Värvidega tähistamist ei kasutata veeldatud gaaside korral.

## Üldine värvidega tähistus



## Eri gaaside värvidega tähistus



<sup>1)</sup> N = uus    <sup>2)</sup> Mittetoksiline, mittekorrodeeriv, mittesüttiv, mitteeksüdeeriv    <sup>3)</sup> Vastavalt Euroopa standarditele    <sup>4)</sup> EEC (sks. EWG) = Euroopa Majanusühendus (EMÜ)

### Joonis 4.53. Gaasiballoonide värvidega tähistus [6]

#### Propaan

Tehniline propaan ( $C_3H_8$ ) on läbipaistev terava lõhnaga gaas. Propaani saadakse naftasaaduste ümbertöötlemisel. Normaaltemperatuuril on propaan gaasilises olekus, madalatel temperatuuril või kõrge rõhu all läheb üle vedelasse olekusse. Propaani ja hapniku leegi temperatuur on suhteliselt madal ega ületa  $2600\text{ °C}$ . Seepärast kasutatakse seda ainult terase keevitamiseks, mille paksus ei ületa 3 mm.

#### Propaani ja butaani segu

Propaani- ja butaanigaaside segu saadakse naftatöötlemise kõrvalproduktina. Propaani ja butaani segul on iseloomulik terav lõhn. Seda kasutatakse terase lõikamisel, kergsulavate mitteraudmetallide keevitamisel ja jootmisel, karastamisel ning termoplastide gaaskeevitamisel.

## Looduslik gaas

Looduslik gaas sisaldab põhiliselt metaani (80...98%) ja vähesel määral butaani, propaani jt gaase. Looduslik gaas on peaaegu lõhnatu ning gaasilekete avastamiseks lisatakse erilisi terava-lõhnalisi komponente. Gaasileegi temperatuur on 2100...2200 °C. Looduslikku gaasi kasutatakse piiratud juhtudel, põhiliselt termolõikamisel.

## Vesinik

Vesinik (H<sub>2</sub>) on normaaltingimustel värvitu ja lõhnatu põlevgaas. See on üks väikseima tihedusega gaase. Vesinik võib moodustada õhuhapnikuga plahvatusohtlikke segusid. Seetõttu tuleb keevitustöödel täita rangelt ohutusnõudeid. Vesiniku ja hapniku põlemistemperatuur on 2100...2300 °C. Gaasileegil on iseloomulik sinine värv ning leegi osadel puudub kindel kontuur, mis raskendab keevitusleegi reguleerimist.

## Hapnik

Gaaskeevitamisel ja -lõikamisel kasutatav kõrge temperatuur saadakse põlevgaasi hapnikus põlemisel. Hapnik on normaaltingimustel (temperatuuril 20 °C, rõhul 0,1 MPa) läbipaistev ilma lõhnata gaas, kuid toetab aktiivselt põlemist. Hapnik on keemiliselt väga aktiivne, moodustades ühendeid kõikide keemiliste elementidega, välja arvatud inertgaasid. Hapniku ja põlevgaaside ühinemisreaktsioonil eraldub suur hulk soojust. Kui rõhu all olev gaasiline hapnik puutub kokku orgaaniliste ainetega – õlide, rasvade või söetolmuga –, siis võib toimuda isesüttimine. Seepärast tuleb hapniku kasutamisel hoolikalt jälgida, et hapnik ei oleks kontaktis kergestisüttivate ja -põlevate ainetega. Kogu hapniku tarbimisel kasutatav aparatuur ja balloonid tuleb puhastada rasvast ja õlist. Hapnik võib moodustada põlevgaasi või põlevvedelikuga plahvatusohtliku segu ja lahtise leegi või sädeme olemasolul plahvatada.

Keevituskohale tarnitakse hapnik 40-liitristes balloonides, normaaltingimustes rõhu all 150 või 200 baari (15 või 20 MPa).

Keevitamiseks ja metallide termolõikamiseks toodetakse kolme erineva puhtusega hapnikku:

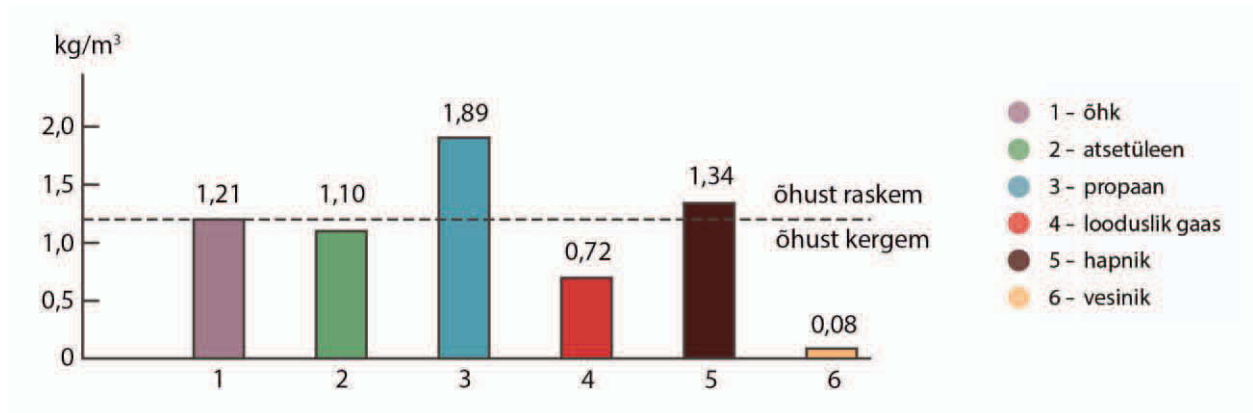
I sort – hapnikku mitte vähem kui 99,97%

II sort – hapnikku mitte vähem kui 99,5%

III sort – hapnikku mitte vähem kui 99,2%

Hapniku puhtus omab suurt tähtsust hapniklõikamisel. Mida vähem on hapnikus gaasilisi lisandeid, seda suurem on lõikamise kiirus, puhtam lõikeserv ja väiksem hapnikukulu.

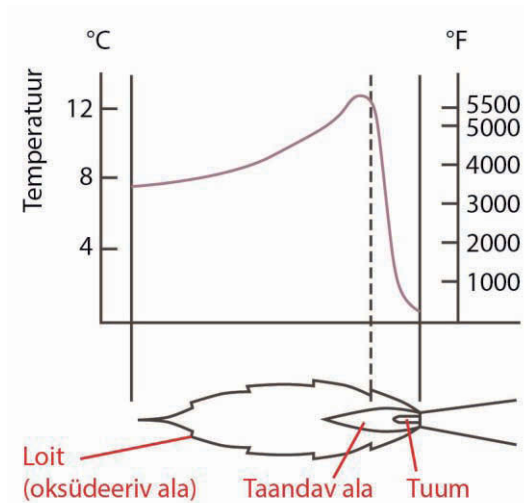
Vedela hapniku muutmiseks gaasiliseks kasutatakse pumpasid ja aurusteid. Ühe kuupdetsimeetri vedela hapniku aurustumisel temperatuuril 20 °C ja atmosfääri normaalrõhul moodustub 860 dm<sup>3</sup> gaasilist hapnikku. Seepärast on otstarbekas toimetada hapnik keevituskohale vedelal kujul, kuna taara mass väheneb kümnekordselt. Joonisel 4.54 on toodud hapniku ja põlevgaaside tihedused.



**Joonis 4.54. Hapniku ja põlevgaaside tihedused [3]**

#### 4.4.3 Gaaskeevitusleek

Gaaskeevitusleek moodustub põlevgaasi või selle aurude põlemisel hapnikus. Gaasileegi ülesanne on kuumutada ja sulatada keevituskohas põhi- ja lisametalli. Kõige rohkem kasutatakse gaaskeevitamisel hapniku- ja atsetüleenileeki kõrge temperatuuri (3150 °C) ja soojuse kontsentreerituse tõttu. Hapniku-atsetüleenileek loob sula keevismetalli kaitsva keskkonna ja koosneb kolmest alast (vt joonis 4.55): tuumast, taandavast alast ja loidist ehk oksüdeeruvast alast. Reeglina kasutatakse keevitamiseks taandavat ala.

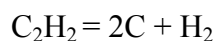


**Joonis 4.55. Keevitusleegi alad ja nende temperatuur gaaskeevitusel [2]**

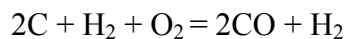
Tuumal on selgelt eristatavad piirjooned, mis muutuvad otsast sujuvalt ümaraks, eredalt helen-dava ümbrisega. Tuuma mõõtmed sõltuvad põlevgaasi segu koostisest, gaasikulust ja väljavoolu-kiirusest.

Taandav ala paikneb tuumast veidi kaugemal ning erineb märgatavalt tuumast leegi tumedama värvuse tõttu.

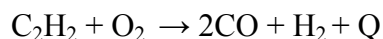
Atsetüleen põlemisel hapnikus võib tinglikult eristada kahte staadiumi. Kõigepealt laguneb atse-tüleen soojuse toimele süsinikuks ja hapnikuks:



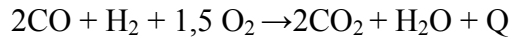
Seejärel toimub atsetüleen põlemise esimene staadium, kus kasutatakse gaasisegus olevat hap-nikku ning toimub järgmine reaktsioon:



Põlemise teine staadium toimub õhuhapniku arvel järgmise keemilise reaktsioonina:



Oksüdeerivas alas toimuvad õhuhapniku toimele täiendavad reaktsioonid:



Põlevgaasi hapnikus põlemine on eksotermiline protsess, st põlemisel eraldub soojust.

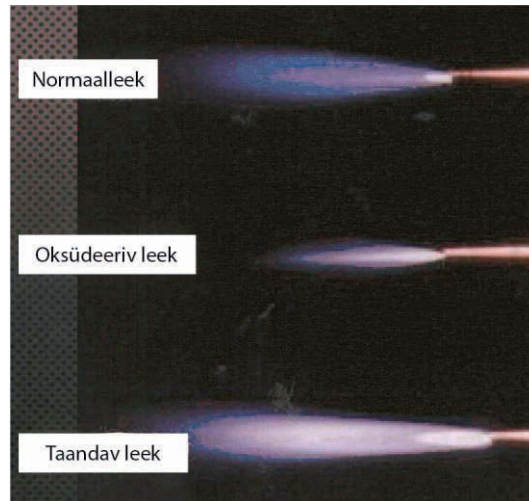
Olenevalt hapniku ja atsetüleenini omavahelisest mahusuhtest saadakse kolm peamist keevitusleegi liiki: normaalne, oksüdeeruv ja taandav leek.

#### Normalleek ehk neutraalne leek

Normalleek ehk neutraalne leek (vt joonis 4.56) saadakse teoreetiliselt juhul, kui ühele mahuosale hapnikule vastab üks mahuosa atsetüleenini. Praktikas antakse põletisse mõnevõrra rohkem – 1,1...1,3 osa atsetüleenini.

Normalleeki iseloomustab vaba hapniku ja süsiniku puudumine taandavas tsoonis. Hapnikku antakse põletisse veidi rohkem seetõttu, et ta pole päris puhas, samuti kulub väike osa hapnikku vesiniku põletamiseks. Normalleegis on kõik alad hästi näha. Tuumal on teravalt piiritletud, peaaegu silinderjas, otsast ümarduv kuju, selle pind helendub tugevalt. Tuuma väliskiht koosneb hõõgivatest süsinikuosakestest, mis seal ära põlevad. Tuuma suurus oleneb küttesegu koostisest, hulgast ja väljavoolukiirusest. Leegi tuuma läbimõõdu määrab kindlaks suudmikanali läbimõõt, tuuma pikkuse aga gaasisegu väljavoolukiirus.

Keevituspõleti suudmiku kanali ristlõikepindala on võrdeline keevitatava metalli paksusega. Keevitusleek ei tohi olla liiga nõrk ega jäik. Nõrgal leegil on kalduvus tagasilöökideks ja plaksudeks, jäik leek aga puhub sulametalli keevisvannist välja. Hapnikurõhu suurenemisel kasvab põlevsegu väljavoolukiirus ja keevitusleegi tuum pikeneb, väljavoolukiiruse vähendamisel tuum lüheneb.



**Joonis 4.56. Gaaskeevitusel kasutatavad leegitüübid: normaalne, oksüdeeriv ja taandav leek**

Keevitusleegi tuumale järgneb taandav tsoon, mis eristub sellest selgesti tumeda värvuse tõttu. Keevitusleegi pikkus oleneb suudmiku ava siseläbimõõdust. Tsoon koosneb atsetüleeni mittetäieliku põlemise produktidest – süsinikoksiidist ja vesinikust, mis desoksüdeerivad (taandavad) sulametalli, võttes selle oksiididest ära hapnikku. Kui keevitamisel asub keevisvannis olev sulametall leegi keskmises (taandavas) tsoonis, saadakse keevisõmblus, mis ei sisalda poore, gaase ega mittemetallilisi lisandeid. Seega tulebki teraseid keevitada selles alas. Ka temperatuur on kõige kõrgem (3150 °C) tuuma otsast 3...6 mm kaugusel.

#### Oksüdeeriv leek

Oksüdeeriv leek tekib hapniku suure ülehulga puhul, st siis, kui põletisse antava hapniku maht on atsetüleeni mahust rohkem kui 1,3 korda suurem. Seejuures muutub tuum koonusekujuliseks ja kahvatuks, lüheneb tunduvalt ja tuuma piirjooned ei ole enam teravad. Kogu leek omandab sinakaslilla värvuse ja leegi kontuurid ning alad lühenevad. Oksüdeeriva leegi temperatuur on kõrgem kui normaalleegil, kuid keevitada ei tohi suure hapnikusisalduse tõttu. Liigne hapnik põhjustab õmblusmetalli oksüdeerumist, mistõttu saadakse poorne ja habras keevisõmblus. Oksüdeerivat leeki on lubatud kasutada messingi keevitamisel ning kõvajoodistega jootmisel.

#### Taandav ehk tsementiitiv leek

Taandav leek tekib atsetüleeni ülehulga puhul, kui põletisse antava atsetüleeni ühe mahuühiku kohta tuleb vähem kui 0,95 mahuühikut hapnikku. Sellise leegi tuuma piirjooned kaovad, tuuma

otsale tekib aga roheline kroon, mille järgi saabki otsustada atsetüleenile ülehulga üle. Taandav ala on tunduvalt heledam ja sulab tuumaga peaaegu ühte, loit muutub kollakaks. Atsetüleenile suure ülehulga korral hakkab leek suitsema, sest atsetüleenile täielikuks põlemiseks ei jätku hapnikku. Leegis olev liigne süsinik neeldub kergesti sulametalli ja halvendab õmbluse kvaliteeti. Taandava leegi temperatuur on madalam kui oksüdeerival ja normaalleegil. Taandavat leeki kasutatakse malmi keevitamisel.

Tabelis 4.14 on toodud erinevate metallide keevitamiseks kasutatavad keevitusleegitüübid.

**Tabel 4.14. Keevitusleegitüübi valik**

Keevitatav metall	Taandav leek	Normaalne leek	Oksüdeeriv leek	
Teras	-	+	-	
Malm	+	0	-	+ keevitub hästi
Vask	-	+	-	0 on võimalik
Messing	-	-	+	- keevitub halvasti
Alumiinium	+	0	-	

Gaaskeevitusleeki on võimalik reguleerida nn teravaks või pehmeks. Terav leek saadakse, kui vastava suurusega keevitusotsikule reguleeritakse maksimaalne väljavoolukiirus. Sellise leegi abil on võimalik sulametalli keevivannist välja puhuda. Pehme leek moodustub juhul, kui keevitusotsikust eralduva gaasi kiirus on reguleeritud kõige madalamaks. Pehme leek on tundlik tagasilöökidele. Keevitamisel ei tohi keevitusleek olla liiga terav ega liiga pehme.

#### 4.4.4 Keevituspõleti

Keevitamisel, pealesulatamisel ja jootmisel on gaaskeevitaja põhiline töövahend gaasipõleti. See on seade, mille ülesandeks on hapniku ja põlevate gaaside kokkusegamine ning sobiva gaasileegi saamine. Iga gaasipõleti võimaldab reguleerida keevitusleegi võimsust, koostist ja kuju.

Gaaskeevituspõlleteid liigitatakse järgmiselt:

- põlevgaasi ja hapniku etteandmise järgi segukambrisse: injektoriga ja injektorita põletid ehk samarõhupõletid,
- põlevgaasi liigi järgi: atsetüleenile-, atsetüleenile asendavate gaaside, vedelkütuse- ja vesinikupõletid,



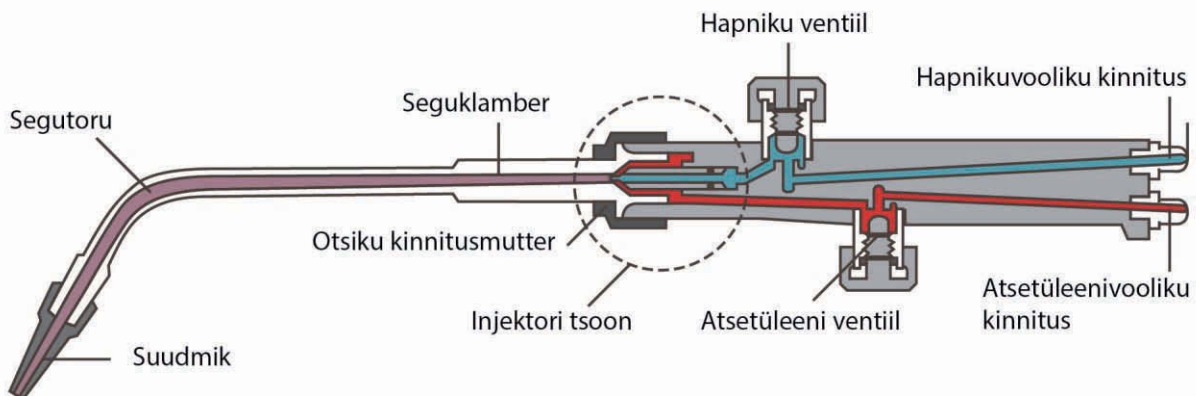
- otstarbe järgi: universaalsed (keevitamiseks, lõikamiseks, jootmiseks ja pealesulatamiseks) ning spetsiaalsed (ühe kindla operatsiooni tegemiseks),
- leekide arvu järgi: ühe- ja mitmeleegipõletid,
- leegi võimsuse järgi: väikese võimsusega (atsetüleenikulu 25...4000 dm<sup>3</sup>/h), keskmise võimsusega (400...2800 m<sup>3</sup>/h) ja suure võimsusega (2800...7000 m<sup>3</sup>/h) põletid,
- kasutusviisi järgi: käsi- ja masinpõletid.

Keevituspõletid peavad olema ehituselt lihtsad ja mugavad käsitseda, tagama töötamisel ohutuse ja püsiva keevitusleegi.

### Injektorpõletid

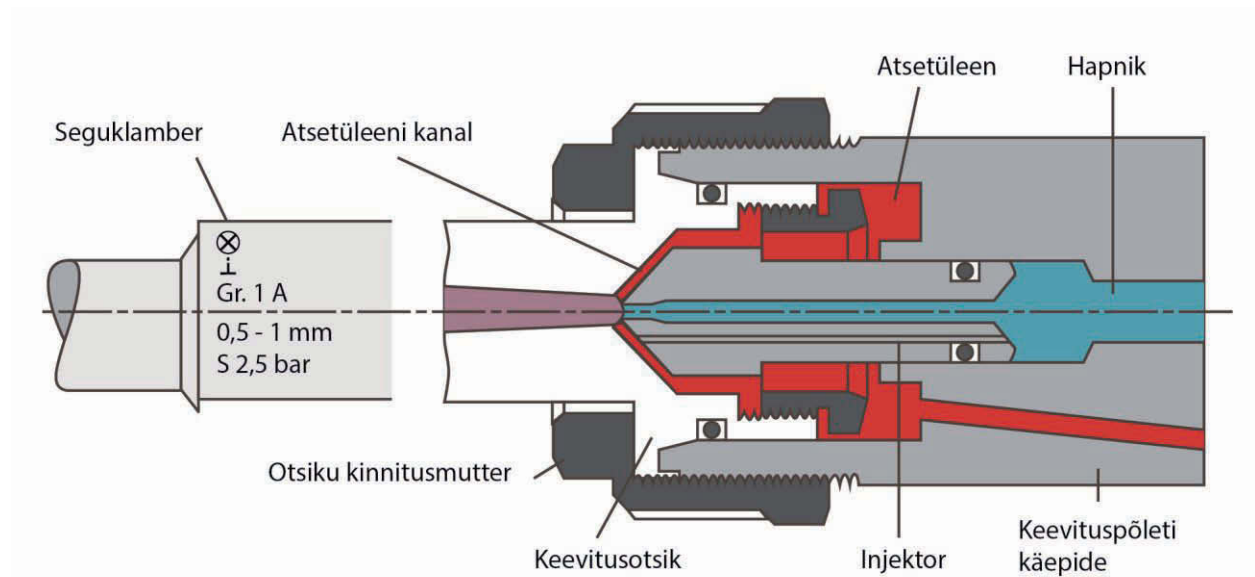
Injektorpõletid on selline keevituspõletid, mille düüsi suure kiirusega väljuv hapnikuga imeb põlevgaasi segukambrisse. Injektorpõletid normaalseks tööks peab hapniku rõhk olema 0,15...0,4 MPa (1,5...5 baari). Atsetüleenirõhk on tunduvalt väiksem – 0,098...117,7 kPa (0,01...1,2 baari). Injektorpõletid on toodud joonisel 4.57.

Reduktorist tulev hapnik voolab läbi vooliku ühendusmutri, põletid toru ja ventiili (6) ning läbib injektori düüsi (5). Düüsi suure kiirusega väljudes tekitab hapnik atsetüleenikanalis hõrenduse, mille tulemusena imetakse atsetüleen voolikust läbi kinnitusmutri (9), toru ja atsetüleeniventili (8) segukambrisse (3). Seal kambris hapnik ja atsetüleen segunevad, moodustades põlevsegu. Süütmikust väljuv põlevsegu süüdatakse ning tekib keevitusleek. Gaaside voolamist põletisse reguleeritakse hapniku- (6) ja atsetüleeniventiliga (8). Vahetatavad keevitusotsikud kinnitatakse survekinnitusega (4) põletid käepidemele.



**Joonis 4.57. Injektorpõletid ehitus: 1 – süütmik; 2 – segutoru; 3 – segukamber; 4 – otsiku kinnitusmutter; 5 – injektori tsoon; 6 – hapnikuventil; 7 – hapnikuvooliku kinnitus; 8 – atsetüleeniventil; 9 – atsetüleenivooliku kinnitus [3]**

Keevituspõleti injektorseade on toodud joonisel 4.58 ning koosneb järgmistest komponentidest: injektor (7), segukamber (4). Normaalse injeksiooni tekkimiseks tuleb õigesti valida injektori (7) koonilise osa ja segukambri (4) koonuse vahelise pilu suurus, samuti atsetüleenikanali (1) ja hapnikukanali (3) läbimõõdud.



**Joonis 4.58. Keevituspõleti injektori skeem: 1 – atsetüleenikanal; 2 – atsetüleen; 3 – hapnik; 4 – segukamber; 5 – otsiku kinnitusmutter; 6 – keevitusotsik; 7 – injektor; 8 – keevituspõleti käepide [3]**

Injektorpõleti ebaõige töö põhjustab leegi tagasilööke, põlevsegu ja atsetüleeni kadu. Keevituspõleti otsiku kuumenemisel väheneb injektorikambris hõrendus, mistõttu väheneb ka juurde voolava atsetüleeni hulk. Kuna põletisse voolava hapniku kogus ei muutu, väheneb atsetüleeni hulk gaasisegus ning järsult suureneb keevitusleegi oksüdeeriv toime. Injektorpõleti puuduseks on põlevsegu koostise ebastabiilsus, eeliseks aga võime töötada põlevgaasi keskmisel ja madalal rõhul.

#### Injektorita ehk samarõhupõletid

Injektorita ehk samarõhupõletites juhitakse atsetüleen ja hapnik põletisse võrdse 0,1...10 baarise rõhu all, kusjuures nad segunevad segukambris või mõnel juhul ka suudmikus. Põletil puudub

injektor, selle asemel võib olla lihtne segudüüs. Normaalse keevitusleegi saamiseks peab gaas väljuma suudmikust teatud kindla kiirusega, mis on võrdne põlemiskiirusega. Kui gaaside väljavoolukiirus on põlemiskiirusest suurem, rebib leek end suudmikust lahti ja kustub. Põlemiskiirusest väiksema väljavoolukiiruse puhul tungib leek suudmikku. Injektorita gaaskeevituspõletid on vähemuniversaalsed. Töötavad ainult põlevgaasi keskmisel rõhul.

Gaaskeevituspõleti suurus valitakse keevitatava materjali ja selle paksuse järgi. Erinevad põletite tootjad tähistavad ka keevituspõleteid erinevalt. Tabelis 4.15 on toodud üks võimalik variant keevituspõletite valikuks.

**Tabel 4.15. Kevitusotsiku suurus ja keevitatava materjali paksus [3]**

Keevitusotsiku number	0	1	2	3	4	5	6	7
Keevitatava materjali paksuste vahemik, mm	0,2...0,5	0,5...1	1...2	2...4	4...6	6...9	9..14	14...20

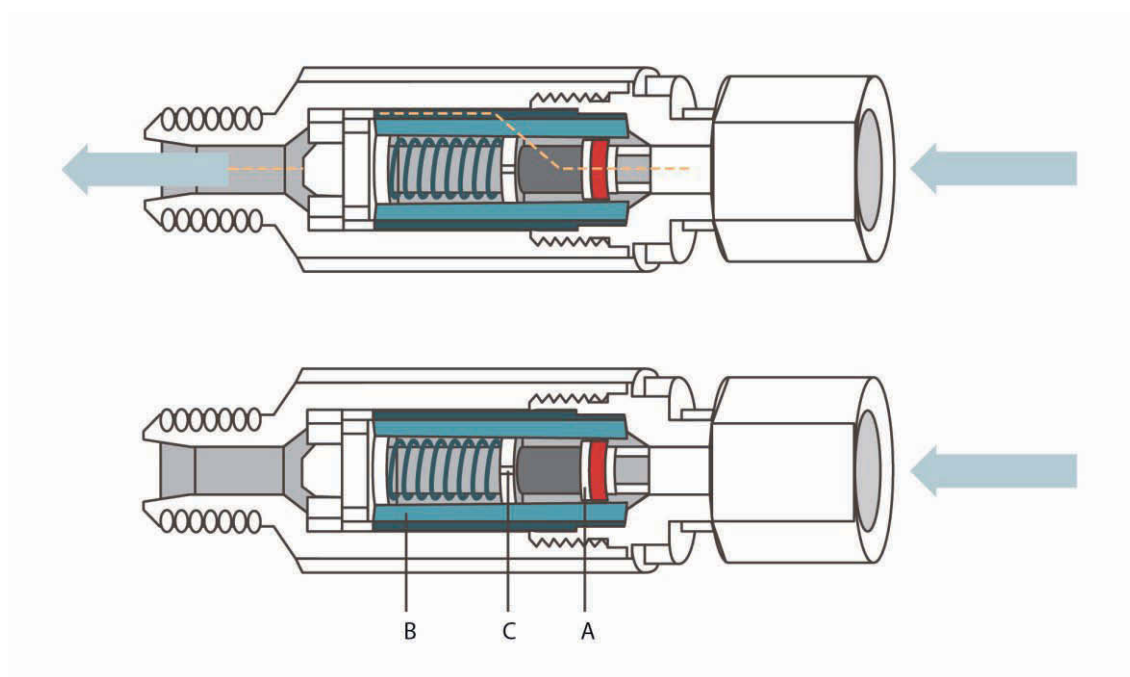
Tänapäeval kasutatakse universaalseid keevitus-lõikepõleteid. Ühise keevituskäepideme külge võib kinnitada erineva suudmiku ava läbimõõduga ja keevitusleegi võimsusega keevituspitse (muutes hapniku kulu piires 20...2500 l/h), vajadusel ka hapniklõikamise otsikut. Kevituspõleti komplekt on toodud joonisel 4.59.



**Joonis 4.59. Mitmeotstarbeline gaaskeevituse ning -lõikamise komplekt Elga D 75**

## Kaitseklapid

Gaaskeevituse põletid peavad ohutuse tagamiseks olema varustatud gaasi tagasivooluklappidega või tagasilöögikaitsetega. Juhul kui keevituspõletist väljuva põlevgaasisegu väljavoolamise kiirus on väiksem gaasi põlemiskiirusest, võib keevitusleek kanduda põletisse ja hapniku suuremal ülerõhul tungib atsetüleenivoolikusse. Gaasisegu põlemise lööklaine levimine gaasivoolikutes võib viia nende purunemise ja ballooni lõhkemiseni, kui ei kasutata kaitseklappe. Ohutuse tagamiseks varustatakse keevituspõleti gaaside sisendid tagasivooluklappidega. Gaasiballoonide reductoritele, harvem põletitele kinnitatakse lihtsa ehitusega tagasilöögiklapid, mis sisaldavad poorset pulbermetallurgilist filtrit. Normaalingimustel voolab gaas läbi filtri, kuid keevitusleegi tagasilöögi korral leek kustub filtri jahutusefekti mõjul. Keerulisema ehitusega kaitseklapid koosnevad tagasivoolukaitsest, leegikaitsest ja kuumustundlikust kaitsest (vt joonis 4.60). Maksimaalse ohutuse tagamiseks kasutatakse kaitseklappe, mis sisaldavad tagasivoolukaitset, leegikaitset, kuumuskindlat kaitset ning rõhutundlikku kaitset.



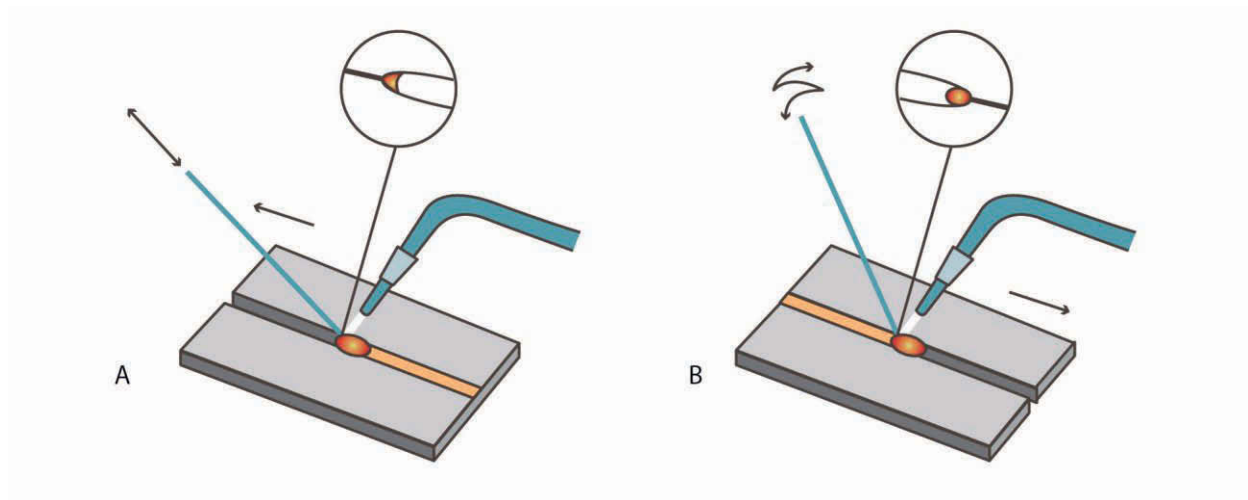
**Joonis 4.60. Kaitseklapp koosneb A – tagasivoolukaitsest; B – leegikaitsest; C – kuumustundlikust kaitsest [11]**

#### 4.4.5 Gaaskeevituse sooritustehnika

Hapnik ja põlevgaas juhitakse balloonidest läbi gaasireduktorite, kaitseklappide ning keevitusvoolikute põletisse, kus gaasid segunevad ja tekitavad gaasileegi.

Injektor- ja injektorita gaasipõletite süütamise tehnoloogia on veidi erinev. Mõlemal juhul tuleb esmalt aeglaselt avada ballooni ventiilid ja reduktoritel seada vajalik töö rõhk. Seejärel on vaja avada kõigepealt hapnikuventiil ning seejärel põlevgaasiventil. Enne gaasisegu süütamist tuleb oodata 5 sekundit, et gaasi-õhu-segu jõuaks põletist väljuda. Spetsiaalse gaasisüütajaga tuleb süüdata gaaside segu ja ventiilide abil reguleerida põleti leek normaalseks. Gaasileegi kustutamiseks tuleb esmalt sulgeda põlevgaasiventil ning seejärel ka hapnikuventil. Seejärel on vaja sulgeda balloonide ventiilid ning põletiventilide avamisega tühjendada keevituspõleti ning voolikud gaasidest. Lõpuks tuleb vabastada reduktorite reguleerimiskruvi.

Gaaskeevitusel kasutatakse **paremasuunalist** (*rightward welding*) ja **vasaksuunalist** (*leftward welding*) või parem- ja vasakkeevitust. Mõlema keevitusmeetodi põhiskeemid on toodud joonisel 4.61.

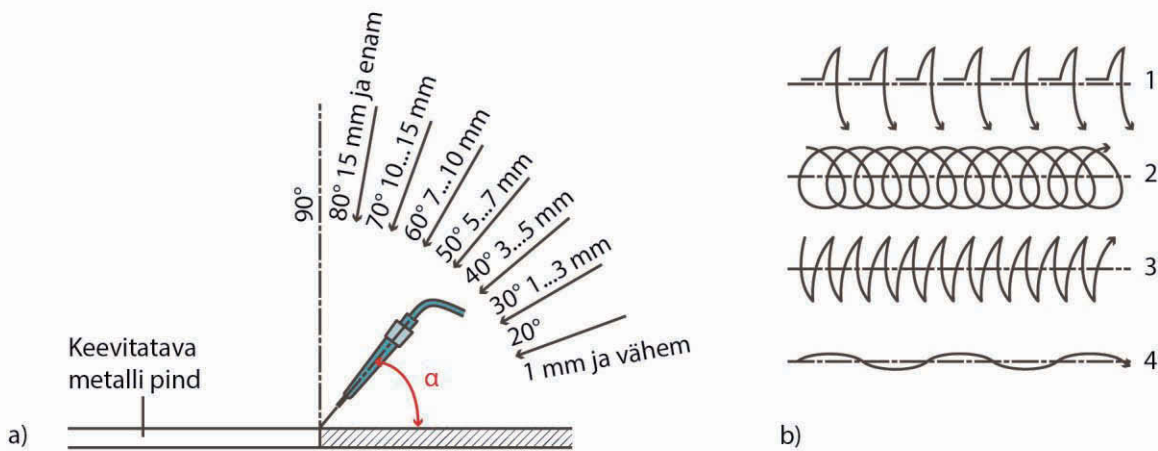


**Joonis 4.61. Parem- ja vasaksuunaline keevitus: A – vasaksuunaline keevitus; B – paremasuunaline keevitus**

Paremsuunalisel keevitusel liigub põleti vasakult paremale, gaasileek on suunatud kuumenenud õmblusmetallile, keevitustraati antakse põleti järele. Põleti suudmikuga võngutatakse ristisihis või mööda spiraali (vt joonis 4.62 b, meetodid 1, 2 ja 3). Gaasileek kuumutab pealesulatatud metalli, mille tõttu toimub õmblusmetalli ja termomõjutsooni aeglasem jahtumine. Keevitusleegi

soojus hajub vähem ja seepärast tehakse paremasuunalisel keevitusel servade  $90^\circ$  lahkemisenurga asemel  $60\dots70^\circ$  nurk, millega vähendatakse pealesulatatava metalli kogust ja toote kaardumist. Lisametallivardaga tehakse väiksema amplituudiga spiraalikujulis liigutusi. Sellega saavutatakse õmblusmetalli parem kaitse ümbritseva õhu eest, gaasikulu väheneb kuni 20% ning kasvab tootlikkus. Paremsuunalist keevitust on otstarbekas kasutada paksemate (üle 5 mm paksuste) materjalide või suure soojusjuhtivusega metallide puhul.

Vasakuunalisel keevitusel liigub keevituspõleti paremalt vasakule ja keevitusleek on suunatud keevitamata õmbluse servale (vt joonis 4.61 a). Kevvituse lisametalli antakse keevitusleegi ette. Et liidetavad servad soojeneksid ühtlaselt ning keevisvanni metall seguneks paremini, liigutatakse keevitusotsikut ja traati, nagu on näidatud joonisel 4.62 b meetod 4. Vasakuuniline keevitamine kindlustab ühtlasema keevisõmbluse kõrguse ja laiuse, suurema tootlikkuse ja väiksema maksumuse 3 mm paksuste metallide keevitamisel. Vasakuunalist keevitust on lihtsam sooritada ja see ei nõua keevitajalt erilisi oskusi. Vasakuunalist gaaskeevitust kasutatakse 2...3 mm paksuste teraste ja kergestisulavate metallide keevitamiseks. Kevvitatava materjali paksusel üle 5 mm jääb vasakuuniline keevitus kiiruselt alla paremsuunalisele.



**Joonis 4.62. Kevvituspõleti suudmiku kaldenurk – a; edasiliikumise viisid – b [9]**

Kevvitustraadi läbimõõt valitakse vastavalt keevitatava metalli paksusele ja keevitamissuunale. Vasakuunalisel keevitamisel võetakse traadi läbimõõduks  $d = s/2 + 1$ , paremsuunalisel keevitamisel aga  $d = s/2$ , kus  $s$  on keevitatava metalli paksus millimeetrites.



Enne gaaskeevituse juurde asumist tuleb keevitatavad servad ja nendega külgnevad alad hoolikalt puhastada roostest, tagist, värvist ja muust mustusest. Enne keevitust ühendatakse detailid üksteisega üksikute lühikeste õmblustega (traagelõmblustega), et liidetavate detailide vaheline pilu jääks keevitamise ajal muutumatuks. Traagelõmbluste mõõtmed ja vahekaugus olenevad keevitava metalli paksusest ning õmbluse pikkusest. Õhukeste materjalide ja lühikeste õmbluste puhul ei tohi õmblused olla pikemad kui 5 mm, nendevaheline kaugus peaks olema vahemikus 50...100 mm. Paksu lehtterase ja pikkade keevisõmbluste puhul võib traagelõmbluste pikkus olla 20...30 mm ning nendevaheline kaugus 50...100 mm.

Terase gaaskeevitusel kasutatavate varraste keemiline koostis on toodud tabelis 4.16.

**Tabel 4.16. Gaaskeevituse vardad [6]**

Gaaskeevituse vardad terase keevitamiseks								EN 12536 (2000-08), asendab DIN-i 8554-1		
Klassifikatsioon, keevismetalli koostis, keevismetalli käitumine										
Tähistus		Keevismetalli keemiline koostis, % (standardväärtused)						Keevismetalli käitumine		
uus	vanem	C	Si	Mn	Mo	Ni	Cr	Voolavus	Pritsmed	Kalduvus pooridele
O I	G I	<0,1	<0,20	<0,65	-	-	-	hästi voolav	palju	jah
O II	G II	<0,2	<0,25	<1,20	-	-	-	vähem voolav	vähe	jah
O III	G III	<0,15	<0,25	<1,25	-	<0,80	-	poolvoolav	ei ole	ei
O IV	G IV	<0,15	<0,25	<1,20	<0,65	-	<1,20	poolvoolav	ei ole	ei
O V	G V	<0,10	<0,25	<1,20	<0,65	-	<1,20	poolvoolav	ei ole	ei

#### 4.4.6 Pealekeevitustehnoloogia

Kaasaegses gaaskeevitustehnoloogias kasutatakse detailide tugevdamiseks või kulunud pindade taastamiseks **pealekeevitust** ehk pealesulatust. Tehnoloogilises protsessis on kasutusel kolm põhilist varianti: pealekeevitatav lisamaterjal antakse keevitustsooni spetsiaalse traadi või varda kujul (vt joonis 4.63), pulbriline pindmaterjal pihustatakse alusmaterjalile ja sulatatakse sama-

aegselt (pihustussulatus, vt joonis 4.64) või pihustatakse alusmaterjalile ning järgnevalt sulatatakse gaasileegiga, kõrgsagedusvooluga või mõnel muul meetodil.

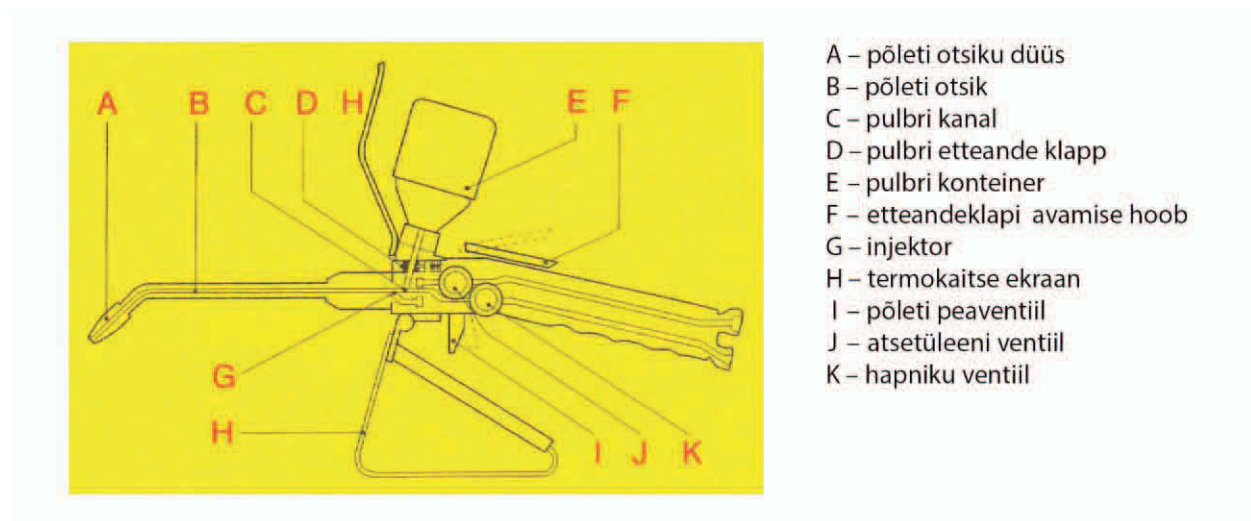


**Joonis 4.63. Hammasratta taastamine pealekeevitusega**

Pihustussulatus korral kasutatakse spetsiaalseid gaasileekpõleteid, mille konstruktsiooni on lisatud pulbrilise lisamaterjali mahuti (punker, vt jooniseid 4.64 ja 4.65).



**Joonis 4.64. Pulber-gaasileekpõleti Super Jet Eutalloy**



**Joonis 4.65. Gaasileekpõleti Super Jet Eutalloy ehitus: A – põleti otsiku düüs; B – põleti otsik; C – pulbri kanal; D – pulbri etteandeklapp; E – pulbrikonteiner; F – etteandeklapi avamise hoob; G – injektor; H – termokaitseekraan; I – põleti peaventiil; J – atsetüleeni-ventiil; K – hapnikuventiil [13]**



Pealekeevitus ja -sulatustehnoloogias kasutatakse lisamaterjalina nn iseräbustuvaid sulameid, kus pealesulatatud materjali kõvadus on määratud vastavate pindmaterjalide koostisega piirides 20...65 HRC.

Pealesulatatud pinded on tihedad ja peaaegu ilma poorideta. Pealesulatatud kihi paksus on piiratud sedavõrd, kui paks sulametallikiht püsib ilma voolamata detaili pinnal. Paksu kihi pealekandmine nõuab mitmekihilist pealesulatust. Pealekeevitusel (sulatusel) tuleb arvestada kuumustemperatuuri mõju alusmaterjalile ning see võib kahjustada eelnevat termotöötlust.

Gaasileek-pealesulatusseadmeid kasutatakse erineva paksuse või läbimõõduga detailide tugevdamiseks või remondiks ning seepärast kuuluvad seadme komplekti erinevad otsikud (vt joonis 4.67). Suuregabariidiliste detailide pealekeevitamiseks kasutatakse põleteid, mis on varustatud otsiku vesijahutusega või tuleb kasutada mitut põletit samaaegselt.



**Joonis 4.66. Pulber-gaasileekpõleti erinevate otsikutega komplekt**

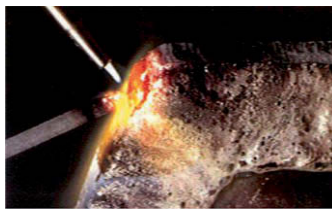
Kvaliteetse korrosiooni- või kulumiskindala pinnakihi saamiseks kasutatakse pealesulatatavaid kõrglegeerteraspulbreid (vt tabel 4.17). Tabelis on toodud firma Castolin iseräbustuvate pulbermaterjalide keemiline koostis ning saadav kõvadus. Sulgudes on antud litsentsi järgi valmistatud pulbermaterjalide koostis [12].

Levinud on ka suure läbimõõduga pealekeevitusvardad, kuhu on kulumiskindluse tõstmiseks lisatud suured volframkarbiidi (WC) tükid. Sellisel juhul saab kasutada kombineeritult pulbri

etteannet punkrist ning varda sulatamist, kuna põleti on ette nähtud pulbri fraktsioonile 0,16 mm ning suurema läbimõõduga komponendid läbi ei mahu.

**Tabel 4. 17. Pealesulatuspulbrite keemiline koostis**

Pulbri mark*	Iseräbustuvad sulamid						Kõvadus HRC
	Keemiline koostis massi järgi %						
	Cr	B	Si	Fe	C	Teised elemendid	
10009 (PG-10N-01)	14...20	2,8...3,4	4,0...4,5	3...4	0,6...1	ülej. Ni	55...62
10224 (PG-10N-03)	-	1,2...2,8	2,3...2,8	0,2...0,6	0,1	ülej. Ni	89...96 HRB
10009 (PG-10N-01)	-	1,2...2,8	2,3...2,8	0,2...0,6	0,1	ülej. Ni	16...18
10680 (PG-10N-04)	PG-10N-02 + 60% WC						55...62
10112 (PS-10NVK-01)	8...14	1,7...2,5	1,2...3,2	1,2...3,2	0,3...0,6	ülej. Ni	35...40
12494 (PG-12N-01)	10...16	2...4	3...5	3...5	0,4...0,8	ülej. Ni	45...50
12496 (PG-12N-02)	12...18	2,5...4,5	3,5...5,5	3,5...4,5	0,5...1,5	ülej. Ni	55...62
12112 (PS-12NVK-01)	PG-12N-03 + 35% WC						55...62



**Joonis 4.67. Kulumiskindla pinde (WC) gaasileekpealesulamine**



**Joonis 4.68. Gaasileekpealekeevitus kulunud pinna taastamiseks**

#### **4.4.7 Gaasjootmine**

Alati pole võimalik või otstarbekas kasutada liitmistehnoloogiana keevitamist. Üheks põhjuseks võib olla liiga suur soojusenergia, mida keevitamisel kasutatakse, halb keevitatavus või alternatiivsed tehnoloogiad.

**Jootmiseks** nimetatakse lahtivõetamatu liite saamise tehnoloogiat, kus ühendatavate materjalide vaheline pilu täidetakse sulametalliga ilma liidetavaid materjale sulatamata. Pilu täitvat metallisulamit, mis on võimeline liidetavaid määrgama, nimetatakse joodiseks ehk jootõmbluseks.

Joodise sulamistemperatuuri järgi eristatakse:

- **Pehmejoodisjootmist**, milles jooteliide saadakse, kasutades joodiseid sulamistemperatuuriga  $<450\text{ }^{\circ}\text{C}$  (pehmejoodiseid), nt Pb, Sn, Zn baasil tõmbetugevusega 50...100 MPa.
- **Kõvajoodisjootmist**, mille puhul kasutatakse joodiseid sulamistemperatuuriga  $>450\text{ }^{\circ}\text{C}$  (kõvajoodiseid) tõmbetugevusega kuni 700MPa, nt Cu, Ag, Ni, Al baasil (tabel 12.4): Cu-Zn, Ag-Cu-Zn, Cu-Zn-Ni-Cu-P ja tõmbetugevusega kuni 700 MPa.

Pehmejoodisjootmist kasutatakse juhtudel, kui jooteliide ei allu märgatavatele mehaanilistele koormustele ja töötab madalatel temperatuuridel, nt elektroonikakomponendid ja elektrotehnika-seadmed. Kõvajoodisjootmist kasutatakse juhtudel, kui on nõutav liite töövõime suhteliselt kõrgetel temperatuuridel ja/või kui jooteliitele mõjuvad suured mehaanilised koormused (nt lennukiturbiniid, konstruktsioonidetailid, lõikeriistad jm). Eesti keeles tavaliselt ei eristata neid jootmisviise, vaid kasutatakse üldnimetust "jootmine".

Keevitamisega võrreldes on jootmisel mitmeid iseärasusi:


- Joodise ja joote koostis erineb liidetavate materjalide koostisest.
- Joodise tugevus on liidetavate materjalide tugevusest väiksem.
- Joodise sulamistemperatuur on liidetavate materjalide sulamistemperatuurist madalam.
- Joote moodustumine toimub enamasti kapillaarjõudude toimele, mis eeldab joodetavate materjalide joodisega märgumist.

Jootmise üheks olulisemaks tingimuseks on joodetava pinna märgumine joodisega. Mida paremad on märgumistingimused, seda paremini valgub joodis pinnal laiali. Märgumine sõltub samuti halvasti märgavate oksiidikilede eemaldamise viisist joodetavatelt pindadelt. Kõige rohkem kasutatakse joodetava pinna märgumise parandamiseks aktiivseid keemilisi aineid – räbusteid. Jooteräbusti ülesanne on joodetava pinna oksiididest puhastamine ja puhtana hoidmine. Tahkete jääkide mõju tõhususe järgi võib räbustid jaotada kolme põhirühma: mittekorrodeeruvad (kaitsvad) räbustid, vähekorrodeeruvad räbustid ja korrodeeruvad (aktiivsed) räbustid (vt tabel 4.18).

**Tabel 4.18. Jooteräbustid [6]**

**Pehmejootmise räbustid**

EN 29454-1 (1994-02)

Tähistus põhiste koostisosade järgi				Klassifikatsioon mõju järgi		
Räbusti tüüp	Räbusti alus	Räbusti aktivaator	Räbusti olek	Tähistamine		Jääkide mõju
1 valik	1 kampol 2 ilma kampolita	1 ilma aktivaatorita 2 aktiveeritud halogeenidega	A vedel	3.2.2... 3.1.1...	F-SW11 F-SW12	väga korrodeeriv
2 orgaaniline	1 vees lahustuv 2 vees mitte-lahustuv	3 aktiveeritud halogeenideta		3.2.1... 3.1.1...	F-SW13 F-SW21	
3 anorgaaniline	1 soolad	1 ammoonium-kloriidiga 2 ilma ammoonium-kloriidita	B tahke	2.1.3... 2.1.2...	F-SW23 F-SW25	vähe korrodeeriv
	2 happed	1 fosforhape 2 teised happed	C pasta	1.2.2... 1.1.1...	F-SW28 F-SW31	
	3 leeliselised	1 amiin ja/või ammoniaak		1.2.3... 1.1.1...	F-SW33 F-SW31	mitte-korrodeeriv
 <b>Räbusti ISO 9454 - 1.2.2.C:</b> Kampoli tüüpi räbusti (1), alus ilma kampolita (2), aktiveeritud halogeenidega (2), kättesaadav pasta kujul (C).						

**Kõvajoodisjootmise räbustid**

EN 1045 (1997-08)

Räbusti	Töö-temperatuur	Kasutamisujuhised
FH10 FH11 FH12	550 - 800 °C 550 - 800 °C 550 - 850 °C	Mitmeotstarbeline räbusti; jäägid välja loputada või keemiliselt eemaldada Cu-Al sulamid; jäägid välja loputada või keemiliselt eemaldada Roostevabad või kõrglegeerterased, karbiidkermised; jäägid keemiliselt eemaldada
FH20 FH21 FH30 FH40	700 - 1000 °C 750 - 1100 °C over 1000 °C 650 - 1000 °C	Mitmeotstarbeline räbusti; jäägid välja loputada või keemiliselt eemaldada Mitmeotstarbeline räbusti; jäägid mehaaniliselt või keemiliselt eemaldada Vask- ja nikkeljoodistele; jäägid mehaaniliselt või keemiliselt eemaldada Boorivaba räbusti; jäägid välja loputada või keemiliselt eemaldada
FL10 FL20	400 - 700 °C 400 - 700 °C	Kergsulamid; jäägid välja loputada või keemiliselt eemaldada Kergsulamid; jäägid ei ole korrodeerivad; kaitsta niiskuse eest

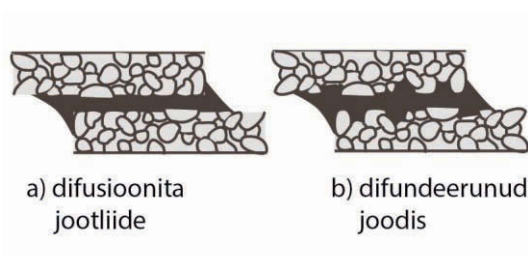
Mittekorrodeeruvatel räbustitel on vaid kaitsev toime. Vähesese aktiivsuse tõttu ei lahusta nad enamiku metallide oksiide ja neid saab kasutada peamiselt vase ja selle sulamite jootmisel, aga ka

hõbetatud, vasetatud, tinatatud või kadmeeritud terasdetailide jootmisel. Tüüpiline mittekorrodeeruv rübusti on kampol ja selle lahused etüülalkoholis või orgaanilistes lahustites. Kampolirübustite jäägid ei ole juhi elektrit ega põhjusta korrosiooni. Rübustid on kasutatavad ainult pehmejoodistega jootmiseks.

Vähekorrodeeruvad rübustid on aktiivsemad ning koosnevad loomsetest rasvadest, mineraalõlidest, orgaanilistest hapetest (piim-, sidrun-, oleiin-, steariin-, benseenkarboksüül-, oblik- jm hape), nende lahustest vees või etüülalkoholis, samuti teistes lahustites. Antud rühma rübustite korrodeeriva toime vähendamiseks lisatakse neile kampolit või teisi komponente, mis ei põhjusta korrosiooni. Kuumutamisel aurustuvad vähekorrodeeruvad rübustid kergesti, põlevad ära või lagunevad. Lagunemata rübustijäägid võivad põhjustada korrosiooni, seepärast tuleb rübustijäägid pärast jootmist eemaldada. Põhiliselt kasutatakse vähekorrodeeruvaid rübusteid pehmejoodistega jootmisel.

Korrodeeruvad rübustid koosnevad anorgaanilistest hapetest, metallide kloriididest ja fluoriididest. Neid kasutatakse vesilahustena, tahkena või pastana. Korrodeerivad rübustid on väga tõhusad enamiku metallide jootmisel kõikidel jootmismeetoditel. Korrodeerivate rübustite erirühma moodustavad alumiiniumi ja selle sulamite jootmiseks määratud reaktiivsed rübustid. Kui joodiste sulamistemperatuur on üle 500 °C, kasutatakse booraksit, boorhapet, fluoriide, fluoroboraate ja nende segusid.

Joonisel 4.50 on toodud kahe erineva jooteliite skeemid. Pehmejoodistega jootmisel on kuumustemperatuurid madalamad ning levinud on peamiselt difusioonita jootliited. Difusioonita jootliidete tugevusomadused ja nakkumine põhimaterjaliga on väiksemad võrreldes nende jootliidetega, kus on toimunud joodise difusioon põhimaterjali.



**Joonis 4.69. Jooteliidete põhitüübid: a – difusioonita jooteliide; b – difundeerunud jooteliide [4]**

Jootmise eelised võrreldes keevitusega on järgmised:

- Madalamad jootmistemperatuurid vähendavad keevitamisele iseloomulikke probleeme: termomõjutsooni struktuurimuutusi, liidetavate toodete kõverdumist. Võimalik on saada keerulisemaid ja õhemate seintega konstruktsioone.
- Protsess on masstootmises kergesti rakendatav ning on võimalik üheaegselt saada hulgaliselt jootliiteid.

Jootmise puuduseks on jootliidete temperatuuritundlikkus, st kuumutamine võib põhjustada liite tugevuse vähenemist või isegi jootte sulamist.

Enamkasutatavad jooteliited on põkkliide ja katteliide. Mõlemad on jootmisprotsessile kohandatud mitmel erineval moel. Liitepinna suurendamiseks põkkliites on ühendatavad pinnad sageli töödeldud kas kaldu või astmeliselt.

**Gaasjootmisel ehk gaasipõletiga jootmisel** toimub kuumutamine gaasileegi abil nagu gaaskeevitamiselgi. Liidetavate detailide peale asetatakse jooteräbusti, hapniku-põlevgaasileegiga kuumutatakse detailid jootmistemperatuurini, mille järel lisatakse gaasileeki lisametalli traadi või varda kujul (vt joonis 4.70 a). Keevitaja käsitseb gaasipõletit analoogselt gaaskeevitusega ja kasutab taandavat leeki. Kasutatakse põhiliselt remonttöödel. Meetodit on võimalik mehhaniseerida, juhtides koostatud detailid ühe või mitme gaasipõleti alt läbi. Gaasjootmisel kasutatakse peamiselt jootepõleteid, harvem vedelkütusel töötavaid jootelampe. Gaasjootmist kasutatakse nii pehme- kui kõvajoodisjootmisel. Meetodi eelisteks on kasutatava seadmestiku (põletid) universaalsus ja nende madalad kulutused, protsessi mehhaniseerimise ja automatiseerimise võimalus. Puudusteks on räbustite kasutamise ja järgneva räbustijääkide eemaldamise vajadus. Enimlevinud kõvajoodised on toodud tabelis 4.19.

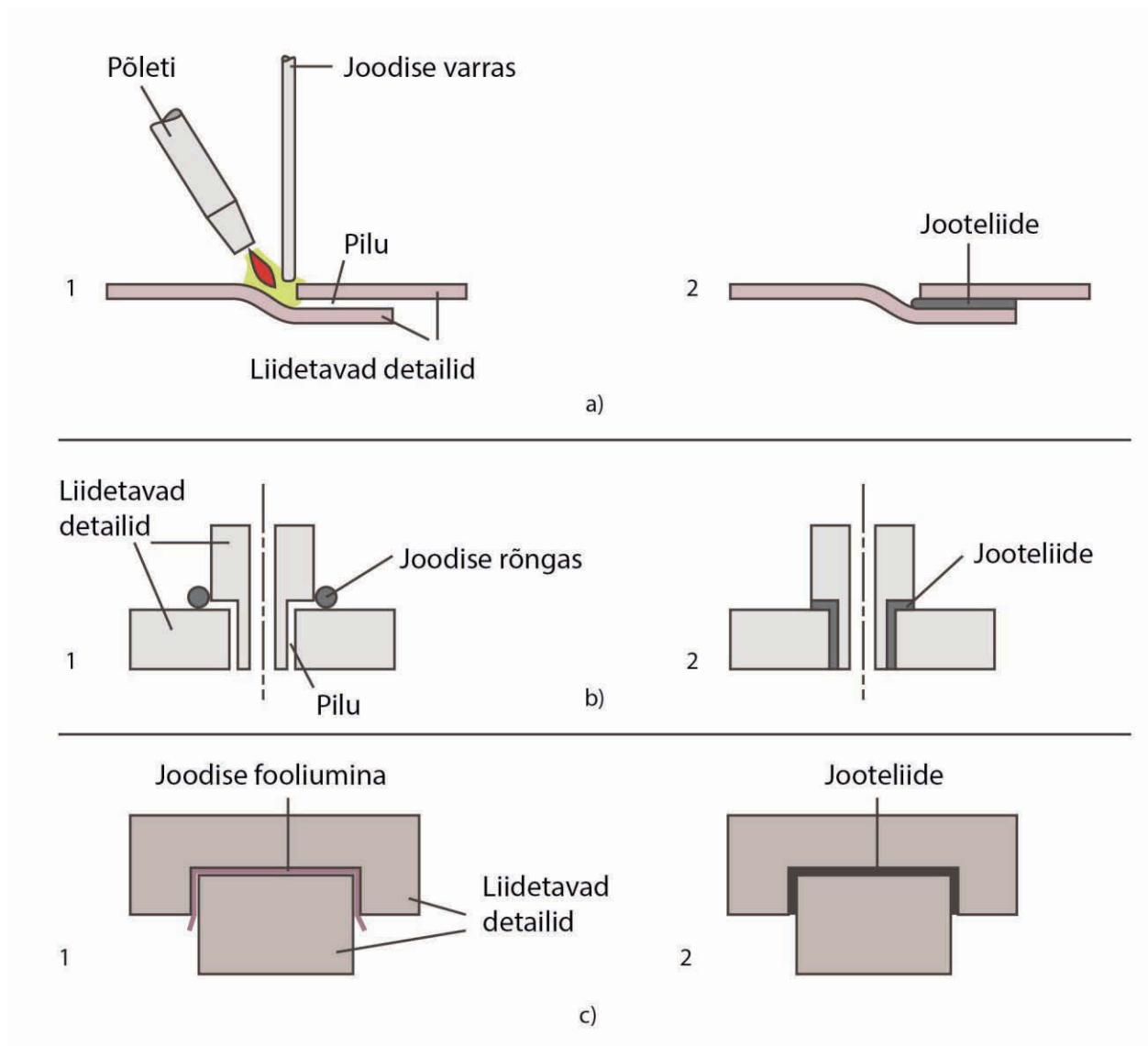


**Tabel 4.19. Enimlevinud kõvajoodised ja nende kasutusala**

Joodise rühm	Joodetavad metallid	Jootmistemperatuur, °C
Al-Si	Al ja Al-sulamid	563-620
Cu ja Cu-sulamid	Raua sulamid, Cu- ja sulamid ja Ni- sulamid, roostevaba teras	925-1150
Cu-P (iseräbustuv)	Cu ja Cu-sulamid	700-925
Ag-sulamid	Kõik metallid, v a Al ja Mg	620-980
Au -sulamid	Raua sulamid, Ni- ja Co- sulamid	900-1100
Ni-sulamid	Roostevaba teras, Ni- ja Co-sulamid	925-1200

Kõvajoodiseid toodetakse sulamistemperatuuriga ligikaudu 580...1240 °C. Tuntuimad on Cu, Ag ja Al baasil kõvajoodised, kuid erijuhtudel kasutatakse ka Pd, Au, Ni, Co jt metallide baasil joodiseid. Vaskjoodised leiavad laialdast kasutust malmi, kõvasulamite ja vase jootmisel oma odavuse ja liidete küllaltki heade tugevusomaduste tõttu. Vaskdetailide ja torude jootmisel kasutatakse sageli Cu-P-joodist, mis kuulub iseräbustuvate joodiste hulka, kus fosfor taandab metallide oksiide ja parandab põhimetalli märgamist. Puhas Cu omab kõrget sulamistemperatuuri ja seda kasutatakse sageli lõikeriistade valmistamisel WC-Co terikuplaatide kinnitamiseks, Cu sulamid Cu-Ni-Ti, Cu-Ni ja Cu-Zn on madalama sulamistemperatuuriga. Pikaajaliseks tööks kõrgetel temperatuuridel (kuni 980 °C), aga ka korrodeeruvates keskkondades leiavad kasutamist niklipõhised joodised nagu Ni-Cr-Fe-Si-B, Ni-P jt. Hõbejoodised Ag-Cu-Ti ja Ag-Ti, Ag-Cu-Zn leiavad kasutamist titaani, keraamika, kõrgleegerteraste jootmisel. Hõbejoodised on kallid, kuid tagavad liitele head mehaanilised omadused. Kuumustugevate teraste, supersulamite, keraamika jootmiseks võib kasutada Au (50-92% Au) + Ni sulamit või isegi sulameid Au-Pd, nt lennukiturbiinide valmistamiseks ja remondiks. Kulumiskindlate kõvasulamite liitmiseks terasega võidakse kasutada veel Ag-Cu-Zn, Ag-Cu-Zn-Cd, Cu-Ni või Cu-Zn-Ni kui ka keerukama koostisega kõvajoodiseid. Alumiiniumi jootmiseks kasutatakse Al-Si-Zn kõvajootmisjoodist.





**Joonis 4.70. Jooteliidete tüüpe**

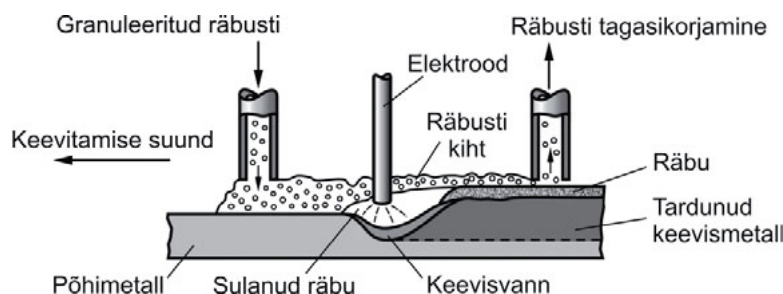
### Kordamisküsimused

1. Millisel keemilisel reaktsioonil põhineb gaaskeevitus?
2. Milliseid põlevgaase kasutatakse gaaskeevitusel?
3. Millised on gaaskeevituse eelised?
4. Millised on gaaskeevituse puudused?
5. Milline põlevgaas annab hapnikuga kõige kõrgema leegitemperatuuri?

6. Millised on gaasileegi tüübid ning kus neid kasutatakse?
7. Kuidas liigitatakse gaasileekpõleteid?
8. Millisel põhimõttel töötab injektorpõleti?
9. Millisel eesmärgil kasutatakse kaitseklappe?
10. Kuidas valitakse gaaskeevituspõleti otsik sõltuvalt keevitatava materjali paksusest?
11. Millistest komponentidest koosneb gaaskeevitusseade?
12. Mille poolest erinevad vasak- ja paremsuunaline keevitus ning kus neid kasutatakse?
13. Kuidas valitakse gaaskeevitusel keevitatava lisametalli läbimõõt?
14. Millisel eesmärgil kasutatakse gaasileek-pealekeevitust?
15. Milliseid lisamaterjale kasutatakse gaasileek-pealekeevitusel?
16. Mille poolest erineb pealekeevituspõleti tavalisest gaasileekpõletist?
17. Mille poolest erineb gaasjootmine gaaskeevitusest?
18. Miks peab joodis hästi märgama joodetavat materjali?
19. Milline ülesanne on jooteräbustitel?
20. Kuidas liigitatakse jooteräbusteid?
21. Millised on põhilised jootliidete tüübid?
22. Kuidas liigitatakse joodiseid sulamistemperatuuri järgi?

## 4.5 Räbustikaarkeevitus

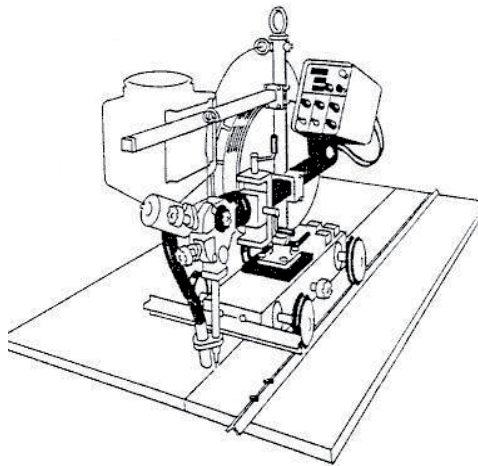
**Räbustikaarkeevitus**, tuntud ka kui räbustis keevitamine, on kaarkeevitusprotsess, mille puhul kasutatakse ühte või mitut keevitustraati ja keevituskaar põleb pulberräbusti kihi all. Tööstusliku kasutamise alguseks loetakse 1930. aastat Räbustikaarkeevituse tunnusnumber on 121. Räbustikaarkeevituse põhimõtet kirjeldab joonis 4.71. Keevitamisel söödetakse keevisvanni jämedat (läbimõõduga 1...10 mm) keevitustraati, harvem täidistraati või keevituslinti. Vahetult enne keevisvanni juhitakse voolukontakti abil keevitustraadile kas alalis- või vahelduvvool tugevusega 300...2000 A ja kaare ette juhitakse gravitatsioonijõu toimele pulbrikujulist räbustit (vt joonis 4.71). Keevituskaar põleb õõnsuses, mis on täidetud gaaside ja metalliaurudega ning ümbritsetud pealt vedela sularäbuga. Nii kaitstakse keevituskaart ja keevisvanni ümbritseva õhukeskkonna eest. Räbustikiht kaitseb hästi töölist kiirguse ja kahjulike gaaside eest, parandades töötingimusi. Tardumisel moodustab räbu keevisliite peal klaasja kooriku, mis on hiljem kergesti eemaldatav. Räbusti isoleerib keevisvanni termiliselt, tagades keevisliite suhteliselt aeglase jahtumise ning sitke ja plastse keevisliite. Keevituskaare pikkust hoitakse automaatselt püsivana. Osa räbustit ei sulata keevitamise käigus, vaid korjatakse üles ja taaskasutatakse.



**Joonis 4.71. Räbustikaarkeevitus**

Kuigi on tegemist automatkeevitusega, on protsessi kaasatud tööline, keda nimetatakse keevitusoperaatoriks ja kelle ülesandeks on detailide koostamine, keevitusparameetrite seadistamine ja protsessi jälgimine. Keevitamisel kasutatakse nii alalis- kui ka vahelduvvoolu, mida saadakse nii püsivvooluga kui ka püsivpingega trafodest või alalditest. Kaasaegsetes seadmetes võidakse kasutada invertvooluallikaid. Traadi etteandesüsteemid on erineva tööpõhimõttega: nii muudetava kui ka püsiva etteandekiirusega. Reeglina kasutatakse automatkeevitusena, kus keevituspea

liigub vankrikesel detailide peal ehk keevitustraktoril (vt joonis 4.72) või keevitustornidele paigutatuna.



#### **Joonis 4.72. Räbustikaarkeevitus keevitustraktoriga**

Räbustikaarkeevitust kasutatakse peamiselt paksust süsinikkonstruksiooniterasest ja roostevabast terasest pikkade ning suuregabariidiliste I- ja T-talade, mahutite, katelde ning laevakorpuste valmistamiseks.

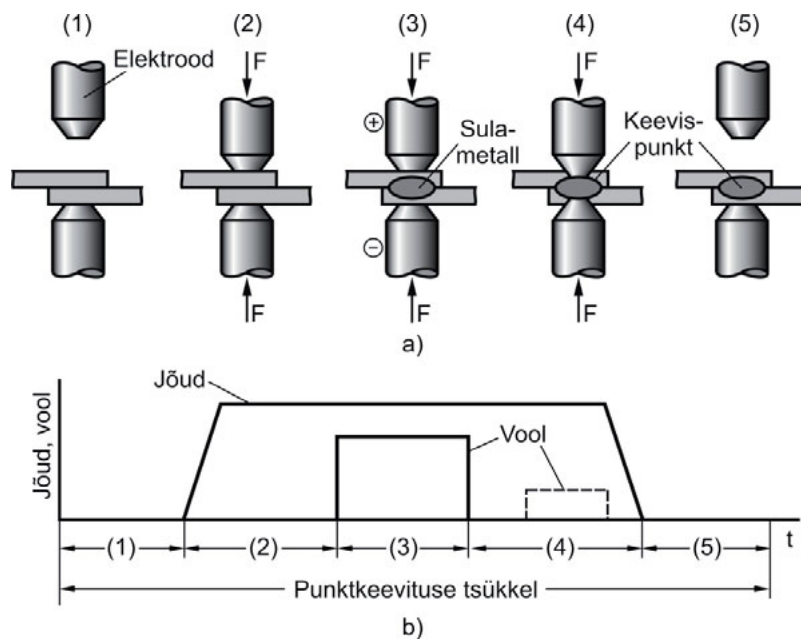
Räbustikaarkeevituse eelisteks on kõrge tootlikkus ehk pealesadestuskiirus ja keevituskiirus (ületab käsikaarkeevitust tootlikkuselt 5...20 korda ja kiiruselt 12...15 korda), suur keevituskaare energia, mis võimaldab keevitada kuni 15 mm paksust terasplaati ilma servi faasimata, keevisõmbluse hea ja stabiilne kvaliteet, puuduvad keevituspritsmed, keskkonnasõbralik, kergesti automatiseeritav ja ei ole tundlik tõmbetuule suhtes.

Räbustikaarkeevituse puudused: ei saa keevitada lühikesi ja jäikusribidega tooteid, keevisõmbluse asend on piiratud üldjuhul allasendiga, kõrged nõuded detailide täpsusele ja koostamisele. Räbustid on hügroskoopsed ja imavad niiskust, mistõttu tuleb vältida nende niiskumist ja vajadusel neid kuivatada.

## 4.6 Punktkontaktkeevitus

**Punktkontaktkeevitus** (tunnusnumber 21) kuulub kontakt-või takistuskeevituse protsesside rühma, mille puhul pealiskuti asetsevate detailide vahel tekib punktikujuline keevisõmblus keevitusvoolu ja survejõudu rakendavate elektroodide toimel. **Kontaktkeevitus** ehk takistuskeevitus on keevitusprotsesside rühma üldnimetus, mille puhul liitekohta kuumutatakse läbiva elektrivoolu toimel, seejuures võidakse rakendada survejõudu. Harilikult on tegemist sulakeevitusega. See on levinuim ja lihtsaim õhukesest lehtmetailist detailide liitmisprotsess, kui liitelt ei nõuta hermeetilisust.

Liidetavad detailid asetatakse üksteise peale ja vastastikku asetsevate keevitusmasinaelektroodide vahele. Edasi rakendatakse elektroodidele survejõudu ja tekitatakse lokaalne elektriline kontakt detailide vahel. Kaob vajadus liitepindade kaitsmiseks ümbritseva õhu eest kaitsegaasi või rääbustiga. Seejärel juhitakse lühiajaliselt (alla 1 s) läbi kontaktpinna madalapingeline, tavaliselt alla 10 V, kuid suure voolutugevusega (kuni 10000 A) vool. Elektrivool läbib detailidevahelise kontaktpinna ja kuumutab seda, mille toimel eralduv soojushulk kuumutab kontaktpindu kuni sulamiseni ja tekib keevisõmblus, mida iseloomuliku kuju järgi kutsutakse keevispunktiks, mille läbimõõt määrab keevisliite tugevuse ja on tavaliselt vahemikus 3...10 mm. Keevispunkti ümbritseb vööna kitsas termomõjutsoon. Kontaktkeevituse parameetrid on: a) keevitusvool, b) keevitusaeg, c) survejõud elektroodidele. Punktkontaktkeevituse etappe ja ajagraafikut kirjeldab joonis 4.73. Keevispunkti ümbritseb vööna kitsas termomõju tsoon.



**Joonis 4.73. Punktkontaktkeevitus: a) etapid; b) ajagraafik**

Punktkeevituse masinates antakse surve ülemisele elektroodile kas kangüsteemiga või vahetult pneumo- või hüdrocilindri abil. Punktkeevituse mobiilsust saab tõsta punktkeevitustangide kasutamisega, mille puhul kasutatakse statsionaarset vooluallikat, kuid eraldi ajamiga portatiivseid suruõhuga toimivaid keevitustange. Leiab kasutamist keevitusrobotites, aga ka autokerede remondil jm. Alates 1980. aastatest on seoses elektroonika kiire arenguga välja töötatud portatiivsed keevituspead, mis sisaldavad nii vooluallikat kui ka elektroodidele jõu rakendamise seadet.

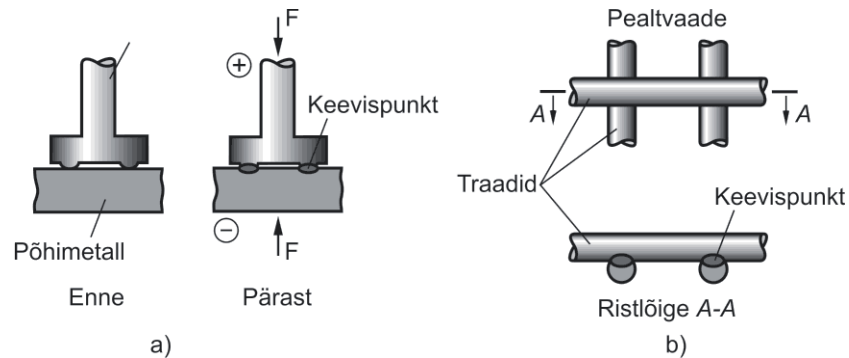
Punktkontaktkeevituse eeliseks on protsessi lühajalisus ehk kestvus ja suur tootlikkus, sobivus automatiseerimiseks.

Puuduseks on punktõmbluste madal tõmbe- ja väsimustugevus, defektsete keevisõmbuste parandamise võimatus, seadmete kõrget hind ja vooluvõrgu ebaühtlane koormamine.

Punktkontaktkeevitust kasutatakse laialdaselt autotööstuses, kus ühes autos võib olla 5000...10000 keevispunkti, aga ka mööblitarvikute jt lehtmetailist toodete valmistamisel. Protsess on hästi automatiseeritav keevitusrobotite abil. Keevitatakse põhiliselt madalsüsinikterasest detaile paksusega 0,5...3 mm, kuid on võimalik keevitada ka terasplekki paksusega kuni 6 mm. Tööstuslikult keevitatakse samuti roostevaba terast ja alumiiniumi.

## Projektsioonkeevitus

Projektsioonkeevitust kasutatakse poltide, tihvtide, mutrite liitmiseks plekiga (joonis 4.75 a) , aga ka punktristliitena traadi või varraste (joonis 4.75 b) liitmisel. Punktristliitena valmistatakse sardbetoovõrku, ostukeskuste kaubakärusid, grille jm tooteid. Projektsioonkeevitus on levinud masstootmises.

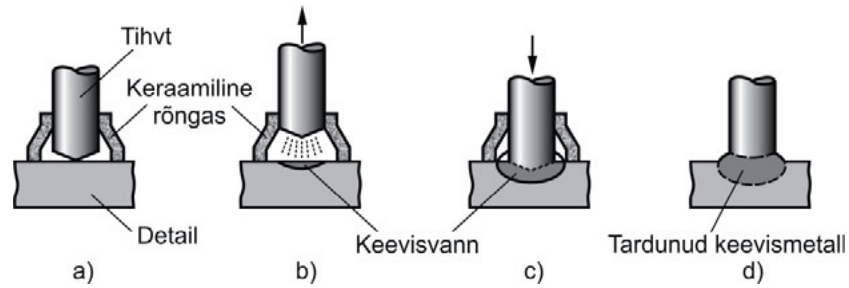


**Joonis 4.75. Projektsioonkeevituse näiteid: a) poldi keevitus pleki külge, b) varraste punktristliide**

## 4.7 Vastakkaarkeevitus

**Vastakkaarkeevitus** (tunnusnumber 781) kuulub mittesulava elektroodiga kaarkeevitusprotsessi-de rühma ja on ette nähtud tihvtide, tikkpoltide ja poltide otspinna kaudu plaatide külge liitmi-seks. Keevituskaart kaitstakse õhukeskonna eest detaili ümber asetseva keraamilise rõngaga või pastakujulise rübusti abil.

Vastakkaarkeevituse etapid on toodud joonisel 4.76. Keevitaja paneb tihvti koos selle otsale ase-tatud keraamilise rõngaga püstolisse ja surub vastu liidetavat pinda. Lülitusnupule vajutades läbib keevitusvool (500...1300 A) tihvti ja keevituspüstolisse sisseehitatud pooli, mille magnetväli tõmbab tihvti detailist eemale, tekitades nii tihvti otspinna ja detaili vahel kaarlahenduse. Tekki-nud kaarlahendus sulatab tihvti otspinna ja ka detaili pinna. Edasi lülitatakse keevitusvool välja ja püstolis oleva vedru abil surutakse tihvt keevisvanni; jahtudes tekib poldi ja alusdetaili vahele tugev liide.



**Joonis 4.76. Vastakkaarkeevituse etapid: a) tihvti kohale asetmine, b) tihvti eemaldamine ja kaare süütamine, c) tihvi surumine keevisvanni, d) liite moodustumine ja keraamilise rõnga eemaldamine**

Keevitusseade koosneb erikonstruktsiooniga järsult langeva tunnusjoonega alaldist ja keevituspüstolist.

Vastakkaarkeevitust kasutatakse terasest, vasest ja alumiiniumisulamitest tihvtide, tikkpoltide jm liitmiseks põhimetallist detailidega, nt ehituslikele terastaladele betooni sidumiseks vajalike tihvtide keevitamiseks, laevaehituses isolatsioonimaterjale siduvate tihvtide keevitamiseks jm.

Vastakkaarkeevituse eeliseks võrreldes teiste kaarkeevitusprotsessiga on lühike keevitusaeg ja suur tootlikkus, nt käsitsikeevitusel kuni 10 detaili minutis, automaatkeevitusel kuni 30 detaili minutis, keevisliite stabiilne ja kõrge kvaliteet.

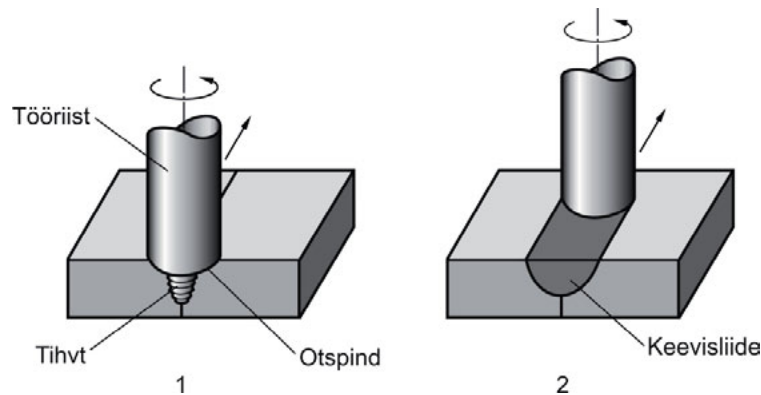
Vastakkaarkeevituse puuduseks on seadmete suhteliselt kõrge hind.



## 4.8 Otshõõrdkeevitus

**Otshõõrdkeevitus** (*friction stir welding*) on mehaanilisel energial põhinev tardfaaskeevitusprotsess materjali kuumutamise ja järgeva ümberpaigutamisega tööriista otspinna pöörlemisel tekkiva hõõrdesoojuse toimel. Patenteeriti aastal 1991 Inglismaal Keevitusinstituudi (TWI) poolt.

Otshõõrdkeevitust kirjeldab joonis 4.77.



**Joonis 4.77. Otshõõrdkeevitus: 1 – enne keevitamise alustamist; 2 – tekkinud õmblus**

Eritasest valmistatud pöörleval tööriistal (meenutab väliskujult sõrmfreesi) on astmeline silindriline osa ja väljaulatava peenem silindriline või kooniline osa ehk tihvt. Liidetavad detailid kinnitatakse järgalt töölauale, tööriista otspind hõõrdub vastu detailide pealispinda, tihvt pöörleb detailide vahepinnas ja kuumutab seal detailide servad temperatuurini kuni  $0,8 T_{sul}$ , mille tulemusena metall läheb plastsesse olekusse. Tööriista esiserva all olev metall siirdub hüdrostaatilise surve all tahapoole ja paigutub ümber.

Otshõõrdkeevitust kasutatakse plastsete metallide (Al, Cu, Zn, Mg) ja alumiiniumi-terase liidete saamiseks. Leiab kasutamist alumiiniumist kergkonstruktsioonide (nt laevapaneelid) valmistamisel. Tänapäeval kasutatakse laialdaselt USA autotööstuses robotkeevitusena, kusjuures keevituskiirus võib tõusta 2 meetrini minutis.

Otshõõrdkeevituse eelisteks kaarkeevituse protsesside ees on: väiksemad valmistuskulud ja -aeg (alumiiniumi keevitusel võrreldes MIG-keevitusega kuni 5 korda), puudub lisametalli ja kaitsegaasi vajadus, keevisliite kõrge kvaliteet ja mehaanilised omadused materjali kalestumise tõttu, keskkonda ei eraldu mürgiseid ühendeid.

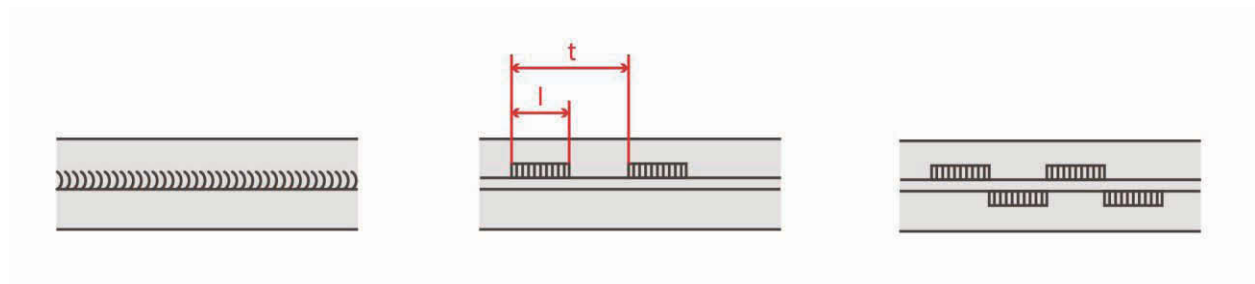
Otshõõrdkeevituse puudusteks on tööriista madal tööiga keevisõmbluse lõpetuskohas tekkiv läbiv ava, mille vältimiseks on vaja kasutada lõpetusplaate, ja seadmete kõrge hind.

### **Kordamisküsimused**

1. Kirjeldage kontaktkeevituse olemust ja erinevust kaarkeevitusprotsessidest.
2. Mille poolest erineb takistus-põkk-keevitus sulatuspõkk-keevitusest?
3. Loetlege punktkontaktkeevituse elektroodide kaks põhiülesannet.
4. Millist kahte põhilist ülesannet täidab surve rakendamine keevituselektroodidele?
5. Miks ei kasutata kontaktkeevitusel kaitsegaase ega rübusteid?
6. Tooge punktkontaktkeevituse ajagraafik ja kirjeldage selle erinevaid etappe.
7. Mis on keevitusrübusti põhilised ülesanded rübustikaarkeevitusel? Millised on protsessi kasutamist piiravad tingimused?
8. Kirjeldage, mille poolest erineb poldi vastakkaarkeevitus poldi kontaktkeevitusest.

## 5. Keevistoote joonis ja kvaliteedinõuded

Masinaehitustoodete ja metallkonstruktsioonide valmistamise aluseks on konstruktorite poolt koostatud joonised. Kui toote valmistamisel kasutatakse keevisliiteid, siis on neid tehnilisi jooniseid täiendatud infoga nende liidete kohta. Joonistel näidatakse keevisõmbluste tüübid, nt millist detailide servakuju kasutatakse. Selle näitamiseks kasutatakse kindlaid keevitusmärke ehk sümboleid, üldjuhul servade kuju iseloomustavaid tähti, nt V-servakuju ehk V-õmblus. Näidatakse samuti keevisõmbluste asukohad, vajadusel nende pikkus ja nurkõmbluste korral nende kõrgusmõõde või harvemini kaateti suurus. Joonistelt saab välja lugeda, millise toote poole pealt (eespoolt või tagantpoolt) tuleb keevisõmblus keevitada. Tavaliselt keevitatakse eelnevalt kokku üksikutest detailidest keeviskoostud, mis hiljem keevitatakse kokku toote montaaži käigus. Selliseid viimasena keevitavaid keevisõmbluste nimetatakse montaažõmblusteks ja neid tähistatakse joonistel lipukesega. Sageli keevitatakse keevisõmbused mööda kinnist kontuuri ümber detailide, mida tähistatakse joonisel väikese ringiga. Tüüpiliseks näiteks on torude keevitamine põkkõmblustega. Konstruktorid näevad nurkõmbluste valmistamisel sageli ette katkendõmbluste kasutamise – õmblus algab detailide otsast ja on kindla pikkusega, siis jäetakse kindla pikkusega keevitamata koht ja selle järel keevitatakse õmbluse lõik. Selliste lõikude vahekaugust nimetatakse sageli ka õmbluse sammuks.



**Joonis 5.1. T-liite pidevõmblus, katkendõmblus ja vahelduv katkendõmblus**

T-talade valmistamisel võivad sellised katkendõmbused olla erinevatel tala pooltel nihutatud üksteise suhtes. Neid nimetatakse vahelduvateks ehk malekorras õmblusteks ja tähistatakse joonistel kindla märgiga.

Vastutusrikaste põkkõmbluste valmistamiseks kasutatakse õmbluse juure avamist. Tavaliselt keevitatakse V-servakujuga keevisõmblustel väiksema keevitusvooluga esimene juurelõik ja

selle järel suurema keevitusvooluga täiteläbimid. Selle järel pööratakse keeviskoost ümber ja ketaslõikuriga või lõikeelektroodiga töödeldakse servavahemikku soon, mis keevitatakse seejärel täis. Nii tagatakse keevisõmbluse täielik läbikeevitus ja hermeetilisus. Joonistel näidatakse juure avamine ja juureõmblus keevisõmbluse tähistuses laudi all poolringiga. Mõned konstruktorid täiendavad seda märki tekstiga “Juur avada”.

Joonistel näidatakse tavaliselt nõuded keevisõmbluste kvaliteedile lubatud keevitusdefektide suuruse järgi. Kui erinevatele keevisõmblustele esitatakse erinevaid nõudeid, siis lisatakse need kvaliteeditaseme tähistuse sabaosasse. Kui kõigi keevisõmbluste kvaliteedile esitatakse ühesugused nõuded, siis on otstarbekas tuua need välja joonise kirjanurga kohal märkusega “Keevitusdefektid ISO 5817 / C” või lühidalt “ISO 5817-C”. Kui nõuded keevisõmbluste kvaliteedile ei ole toodud joonisel, võivad need olla kirjas keeviskonstruktsiooni valmistamise dokumentatsioonis, mida nimetatakse kas tootespetsifikatsiooniks või tootekirjelduseks. Tingimata on vajalik need nõuded välja tuua keevitajale teadmiseks.

### **Keevistoote mõõtmete ja kuju tolerantsid**

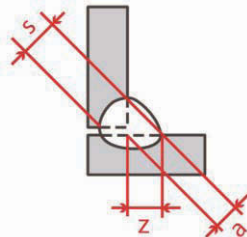
Metallkonstruktsioonide joonistel võidakse näidata keeviskoostu joonmõõtmete ja nurgamõõdette, aga ka kujuhälvete (sirgus, tasapindsus, rööpsus) klassid standardi EVS EN ISO 13920 järgi. Keevistoote joon- ja nurgahälvetele on antud tolerantside suurenemise järjestuses neli klassi: A, B, C, D. A-klassi järgi on mõõtme lubatud kõrvalekalded kõige väiksemad, D-klassi järgi kõige suuremad. Kujuhälvetele on antud 4 klassi tähistusega E, F, G. Nii võib näidata joonisel sobivas kohas, nt kirjanurga peal, nõuded järgmiselt: EN ISO 13920-BE, mis tähendab, et mõõtmed on B klassi järgi ja kujuhälbed E klassi järgi.

Toote joonmõõtmete lubatud hälvete suurus ehk tolerants võidakse anda konkreetsete väärtustega eraldi tabelina, nt kirjanurga kõrval. Metallkonstruktsioonide ja teiste keevistoodete keevitamise järel kontrollitakse neid keevitaja või keevituskoordinaatori poolt visuaalselt, mille kohta on joonise kirjanurga kohal märkus “VT 100%”. Samuti võidakse anda seal konstruktori poolt nõuded teiste mittepurustava kontrolli meetodite ja mahu osas, näiteks kui nõutakse ultrahelikontrolli kasutamist 10% õmbluste osas, siis märkusega “UT 10%”.

## Keevisõmbuste tähistamine joonistel

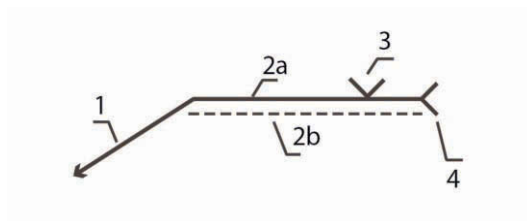
Sulakeevitusega valmistatakse põhiliselt põkk- ja nurkõmbusi. Keevitamise kvaliteedinõuetest lähtudes peaks põkkõmbuse läbikeevituse suurus ( $s$ ) võrduma lehe paksusega ( $t$ ) ehk  $t = s$ , mis tähendab seda, et keevitamise vastaspoolel peab moodustuma väike tugevdus ehk vastasvallik (EN ISO 5817 kvaliteeditasemed B ja C). Kui seda vastasvallikut ei moodustu, siis on tegemist osaliselt läbikeevitatud õmblusega. Vallik peaks olema võimalikult madal, sujuva üleminekuga põhimetallile ja ühtlase laiuse ning kõrgusega. Kuna ühelt poolt keevitades suudab keevituskaar sulatada kuni 4 mm paksust terast, siis suurematel paksustel tuleb detailide servasid faasida. Nii sulatab keevituskaar piisava õhupilu juures detailide vahel õmbluse kaugeima punkti, mida nimetatakse õmbluse juureks. 3–10 mm paksuse teraslehe juures võib kasutada V-kujulist servakuju, paksema materjali korral võib servakuju olla keerulisem. Faasimata servadega õmblust nimetatakse I-õmbluseks ja V-servadega V-õmbluseks (vt joonis 2.4).

Nurkõmblust iseloomustab tema kõrgus või paksus, mis tähistatakse  $a$  tähega. Sageli võidakse anda ka nurkõmbluse kaateti  $z$  väärtus, mille vahel on seosed:  $a = 0,7z$ ,  $z = 1,4a$ . Tähega  $s$  tähistatakse ka nurkõmbuste läbikeevituse sügavust ehk läbikeevitust. Nurkõmbluse läbikeevitus tähendab seda, et õmbluse pinnast kaugeim punkt ehk detailide lõikepunkt ei ole nähtav, kui õmblus läbi lõigata nt lintsaga ja lõikepinnale kanda söövitajat, nt lämmastikhappelahust.



### Joonis 5.2. Nurkõmbuse kõrgus ( $a$ ) ja läbikeevitus ( $s$ )

**Keevisõmbluse tähistus** standardi EVS EN 22553 järgi koosneb õmbluse asukohta suunatud viitenoollest (1), laudist (2a), identifitseerimisjoonest (2b), õmbluse tähisest ehk keevitusmärgist (3) ja sabaosast (4), kus vajadusel näidatakse keevitusprotsessi tunnusnumber ja kvaliteeditase (vt joonis 5.3).



### Joonis 5.3. Keevisõmbluste tähistamine

Üldjuhul kantakse laudi peale, harvem alla, põkkõmblustel servavahemiku kuju ja nurkõmblustel nurkõmblyuse ristlõiget iseloomustav tingmärk ehk keevitusmärk. Keevisõmblyuste tähistus sisaldab põhimärke, mida võib täiendada:

- lisamärkidega
- mõõtmetega
- lisaviidetega

Õmblyuste tunnuseks on põhimärk, mis iseloomustab keevitatavate elementide servade kuju või õmblyuste ristlõiget. Põhimärke võib täiendada õmblyuste välispinda või õmblyuste kuju kirjeldavate lisamärkidega (vt tabel 5.1).

**Tabel 5.1. Keevisõmblyuste tähistamise lisamärke**

Lisamärgi nimetus	Keevitusmärk
Tasane õmblyus	
Kumer õmblyus	
Nõgus õmblyus	
Sujuva üleminekuga õmblyus	
Kinnituva juuretoega õmblyus	
Eemaldatava juuretoega õmblyus	

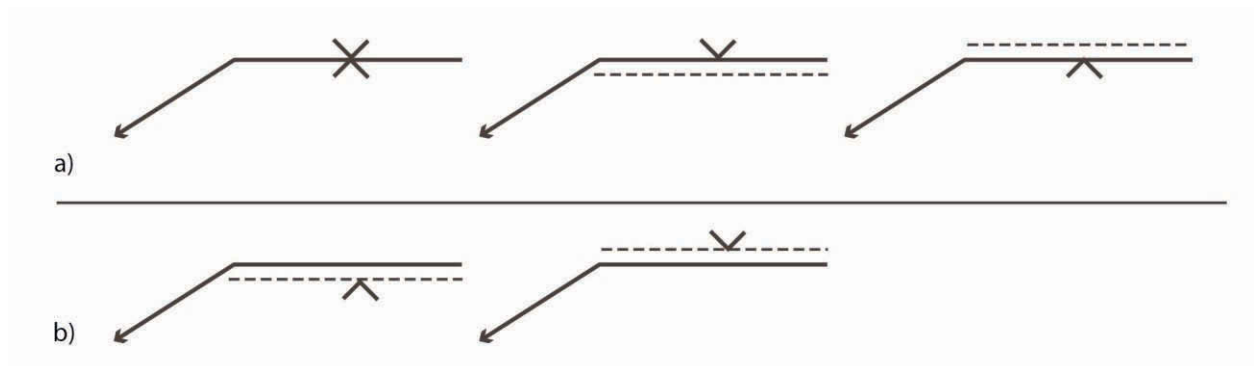
Tasane õmblus nõuab üldjuhul õmbluse tugevduse eemaldamist lõiketötlusega. Sageli eelistatakse nõgusaid õmblusi nende parema väsimustugevuse ja keevituselektroodi väiksema kulutamise poolest, kuid seda ei ole lihtne saavutada. Erilist tähelepanu tuleb pöörata ankrujukulisele lisamärgile. See lisamärk nõuab sujuvat üleminekut keevisõmbluselt detailide pinnale.

Põkkõmbluse mõõtmestamise näide on toodud joonisel 5.4.



**Joonis 5.4. Põkkõmbluse mõõtmestamine**

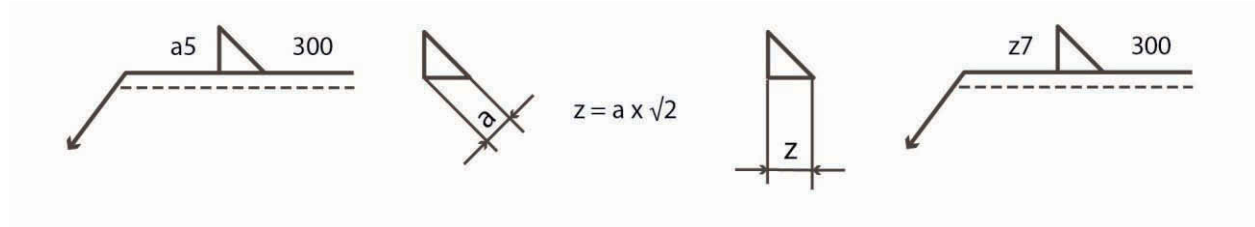
Õmbluse servakuju kirjeldavast põhimärgist vasakul võidakse näidata läbikeevituse sügavus ja paremal õmbluse pikkus. Harilikult kasutatakse läbikeevitatud õmblusi ja tähistuses läbikeevituse suurust ei näidata. Kui kasutatakse mõlemalt pool faasitud detaile ja keevitatud õmblusi, siis katkendjoonega identifitseerimisjoont ei näidata (vt joonis 5.5). Rakendatakse põhimõtet, et kui õmbluse tingmärgid on teisel pool laudi katkendlikust identifitseerimisjoonest, siis õmblus asetseb noole otsa juures.



**Joonis 5.5. Põkkõmbluste kujutamine joonistel**

Nurkõmbluste korral näidatakse põhimärk kolmnurga kujul, mida võidakse täiendada lisamärkidega.

Nurkõmbelse kõrgus kantakse tingmärgist vasakule. Tingmärgist paremale kantakse õmbelse pikkus juhul, kui õmbel ei ole detaili pikkune või tähistus on raskesti tõlgendatav. Nurkõmbelse tähistamise näide koos mõõtmetega on toodud joonisel 5.6.



**Joonis 5.6. Nurkõmbelse tähistamine joonistel**

Juhul kui õmbel on valmistatud ringi ümber detaili (mööda kinnist kontuuri), siis näidatakse viitenoolle ja laudi lõikepunkti ring ja montaažõmbelustel lipukene (vt joonis 5.7).



**Joonis 5.7. Kinnise kontuurõmbelse ja montaažõmbelse tähistamine**

### **Keevitusprotsessi näitamine**

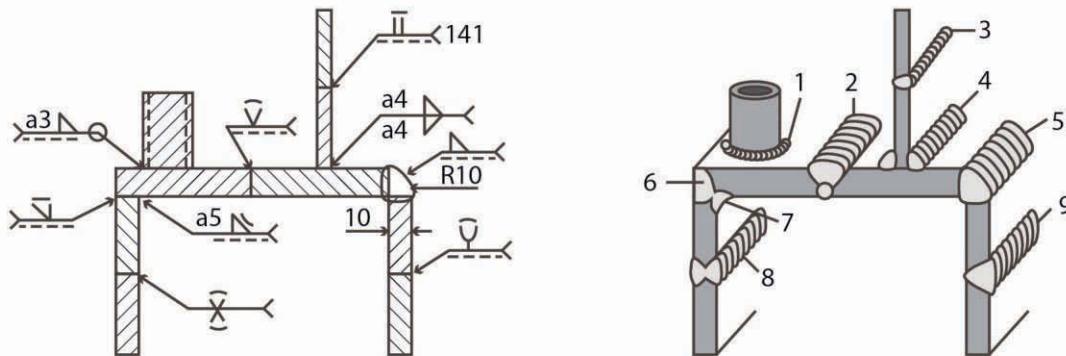
Vajaduse korral näidatakse keevitusprotsess viitejoone laudi hargnevas sabaosas tunnusnumbriga. Keevitusprotsesside loetelu koos tunnusnumbritega on toodud standardis ISO 4063. Tavaliselt konstruktor ei määra kasutatavat keevitusprotsessi, kuid võib nõuda vastutusrikaste keevisõmbeluste, nt tõstekonksude külgekeevitamiseks käsikaarkeevituse kasutamist (tunnusnumber 111). Keevisõmbeluste tähistamise näide koos põhiliste keevitusmärkidega on toodud tabelis 5.2.



Tabel 5.2. Keevisõmbuste tähistus ja keevitusmärgid

Nr	Tähis	Selgitus	Nr	Tähis	Selgitus
1		Montaažõmbus	300		Õmbuse pikkus (kui ei ole detaili pikkune)
		Õmbus mööda kinnist kontuuri			
2	a5 või s7a5	Õmbuse kõrgus (a), läbikõrgus (s) 	4	3x100(200)	Katkendõmbustele: 3 – katkendõmbuse löikude arv 100 – löigu pikkus (200) – vahekaugus
	z5	Õmbuse kaatet (z) 			
3			5		Näitab, kas on keevitatud noole poolt, või vastaspoolt 
6	111	Keevitusprotsessi Nr. (ISO-4063)	7	D	Keevitusdefektid D-taseme järgi
8		Juure avamisega õmbus 			Nõgus õmbus
		Soonõmbus 			
		Punktõmbus 			
		Joonõmbus 			
					Ilma tugevduseta või kumeruseta õmbus
					Tugevdusega või kumerusega õmbus

Erinevate keevisõmbluste kogum koos tähistustega on näidatud joonisel 5.8 ja seda kasutatakse edaspidi näidisülesannete lahendamisel (vt ptk 9).



**Joonis 5.8. Erinevat tüüpi keevisõmblused ja nende tähistus**

### **Kvaliteedinõuded keevisõmblustele lubatud keevitusdefektide suuruse järgi**

Sulakeevitusel esinevad õmbluses või termomõjutsoonis alati kõrvalekalded pidevuses (kokkusulamatus, poorid, räbupesad, praod, sisselõiked) või kujus (nurkõmbluste liigkumerus, ebavõrdsed kaatetid, juurevajum, järsk üleminek õmbluselt põhimetallile, servade nihkumine). Kui need kõrvalekalded on mõõtmelt või arvult lubatud piires, siis on tegemist **keevitusdefektiga**. Kui keevitusdefektide suurus ületab mingi lubatud piiri, siis muutuvad nad **keevitusvigadeks**. Nende esinemisel tuleb õmblused lahti lõigata ja uuesti keevitada ehk teha vigade parandus. Standardi EVS ISO 5817 järgi jagatakse keevisliite lubatud defektid 3 tasandi ehk klassi vahel:

1. B-tase. Kõige kõrgem. Vastutusrikkad tooted, eurokeevitaja proovitööd, survemahutid.
2. C-tase. Keskmine. Enamik metallkonstruktsioone valmistatakse selle taseme järgi. Eesti kutsestandardi proovitöö aktsepteerimistase.
3. D-tase. Mõõdukas. Staatiliselt koormatud ja toatemperatuuril töötavad konstruktsioonid.

Madalama kui D-tasemega keevitustööd ei ole aktsepteeritavad. Standardis EVS-EN ISO 5817 on lubatud keevitusdefektid esitatud tasemete järgi tabeli kujul. Väliseid defekte saab visuaalselt hinnata keevitaja või kontrollija. Juhul kui kasvõi üksainus defekt ületab aktsepteerimispiiri, siis

kontrollija tunnistab terve konstruktsiooni mittevastuvõetavaks. MAG-keevitusel on tüüpiliseks keevitusveaks V-õmbluste korral õmbluse servade kokkusulamatus ehk liiteviga. Seda saab avastada liite ristlõike makrolihvil või ultrahelikontrolliga.

### **Kordamisküsimused**

1. Mis on I-õmblus, detailide ettevalmistamise iseloomustus ja tähistamine joonistel?
2. Tooge T-liite eskiis ja näidake õmblust iseloomustav mõõde ja tähistus.
3. Joonistel on märgitud kvaliteeditasemeks defektide järgi B või C. Millisel juhul on lubatud suuremad keevitusdefektid?
4. Mida tähendab V-õmbluste korral juure avamisega keevitamine?
5. Mida tähendab põkk-keemisõmbluse juures läbikeevitus, sujuv üleminek keemisõmbluselt detailidele ja kuidas seda joonistel näidatakse?
6. Milline on nurkõmbluse tähistus ja mida näitab joonisel tähistus a3 või Z4?

## 6. Keevitustootmise alused

### 6.1 Detailide koostamine, traageldamine ja keevitusjärjestus

Keevitustöö alustamiseks saab keevitaja keevistoote joonise, keevitusprotseduuri spetsifikaadi WPS-i jt tehnoloogiadokumendid. Eelnevalt on keevitaja tutvunud oma tööjuhendiga.

Keevitaja tutvub joonistega, teeb kindlaks nõuded keevisõmblustele (servakujud, nurkõmbluse kõrgus, läbikleepituse sügavus, lubatud keevitusdefektid EVS EN ISO 5817 järgi) ning mõtleb läbi keevisõmbluste keevitamise järjekorra. Kontrollitakse keevituselektroodide vastavust protseduurile ja kui nõutud, nende kuivatamist, nt aluselise kattega elektroodide korral. Vajadusel peab olema töökohal kuumutuspinna elektroodide hoidmiseks, et vältida nende niiskumist. Poolautomaatkeevitusel kontrollitakse keevitustraadi ja kaitsegaasi vastavust protseduurile. Enne töö alustamist puhastatakse poolautomaadi keevituspüstoli gaasisuudmik pritsmetest, kontrollitakse gaasi ettandmist püstolist torukujulise kulumõõturiga (traadi etteandmine on välja lülitatud), traadi etteandemehhanismi tööd.

Keevitaja kontrollib toorikute mõõtmete ja kuju vastavust joonistele. Vajadusel puhastatakse detailide servad **umbes 20 mm** kauguselt roostest, õlist ja mustusest. Faasitud toorikutel lõigatakse vajadusel ära faasimata osa ehk nüristus.

#### **Koostamine**

Detailide koostamine on keeviskonstruktsiooni vastutusrikkamaid operatsioone, millest suurel määral oleneb toote kvaliteet. Keeviskonstruktsiooni koostamisel pannakse konstruktsiooni-lemendid (sõlmed) tehnoloogiakaardil ettenähtud korras paika ning kinnitatakse omavahel rakiste ja traagelõmblustega. Koostamistehnoloogia oleneb tootmistüübist, konstruktsiooni iseärasustest ja kooste-keevitustsehhi seadmestusest. Nimetatud mõjuritest sõltavana eristatakse kaht koostamismoodust: sõlmedena või üksikelementidena. Sõlmede koostamine on ratsionaalsem, sest ta võimaldab mitme sõlme üheaegset koostamist.

Keeviskonstruktsiooni koostamisel on kasutusel järgmised koosteviisid: eelmärkimise järgi, tugikinnitite järgi või šabloonide ja kontrollavade järgi. Eelmärkimise järgi koostamisel määravad iga konstruktsioonielemendi asendi ühendatavatele detailidele eelnevalt kantud märkjooned. Tugi-

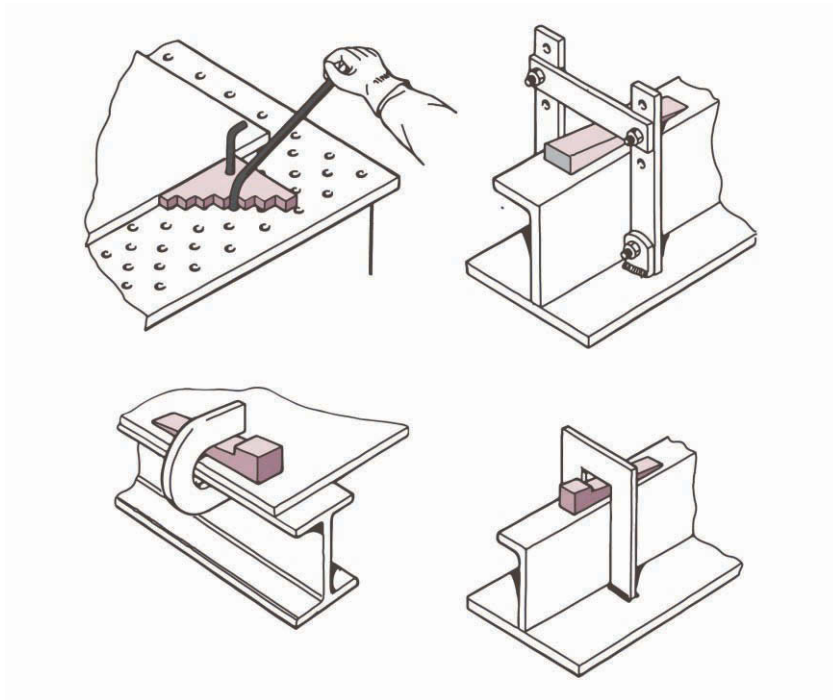
kinnitite kasutamisega koostatakse keeviskonstruktsioon koosteplaadil, konduktooris või vastavas koosterakises.

Kui keevitatavad detailid pannakse kokku kontrollavade järgi, peavad need ühtima.

Keevitusrakised on väga erinevaid. Rakise valik sõltub valmistatava tootepartii suuruselt ja keeviskonstruktsiooni keerukusest. Üksiktootmises on valdavalt kasutusel universaalarakised – kiilud, toed, tõmmitsad, kruvitõmmitsad, klambrid, kangkruvitõmmitsad, pitskruvid jm. Joonisel 6.1 on toodud kiilude kasutamise võimalused mitmesuguste keeviskonstruktsioonide valmistamiseks. Saritootmises kasutatakse peale universaalarakiste spetsialiseeritud koosterakiseid, mis on varustatud kiirkinnitusseadmetega. Seeriatootmine toimub peamiselt spetsialiseeritud koosteseadmete ja rakiste abil.

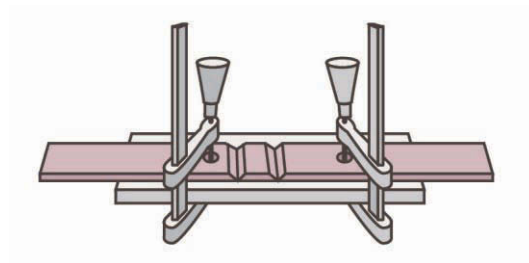
Keevitusrakiste ülesanne on:

- kinnitada liidetavad detailid vajalikus asendis,
- parandada keevituse kvaliteeti,
- tagada töö turvalisus,
- hoida kokku põhi- ja lisamaterjali,
- kiirendada keevitusprotsessi ning tagada majanduslik kasum,
- parandada keevitaja ergonoomikat ja vähendada tööliste koormust.



**Joonis 6.1. Kiilude kasutamine keeviskonstruktsiooni koostamiseks**

Joonisel 6.2 on näidatud pitskruvide kasutamine liidetavate detailide kinnitamiseks.



**Joonis 6.2. Pitskruvide kasutamine liidetavate detailide kinnitamiseks**

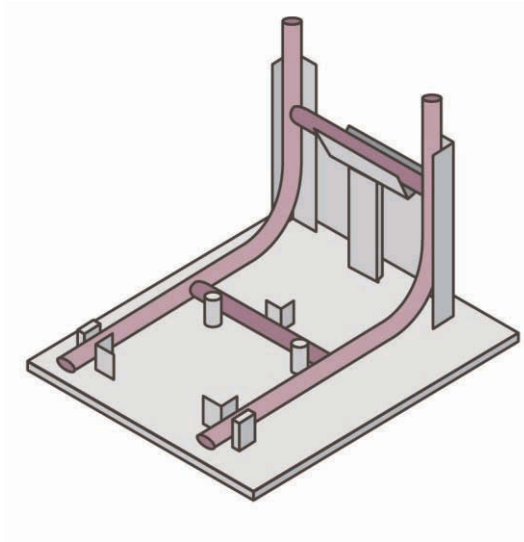
Mitmesuguste rakiste kasutamise tulemusena väheneb koosteoperatsioonide töömahukus ning keeviskonstruktsioonides tekivad väiksemad jäävdeformatsioonid, toodete kvaliteet on parem ning on lihtsam kontrollida koostamise õigsust enne keevitamist.

Hea rakis peab rahuldama järgmisi nõudeid:

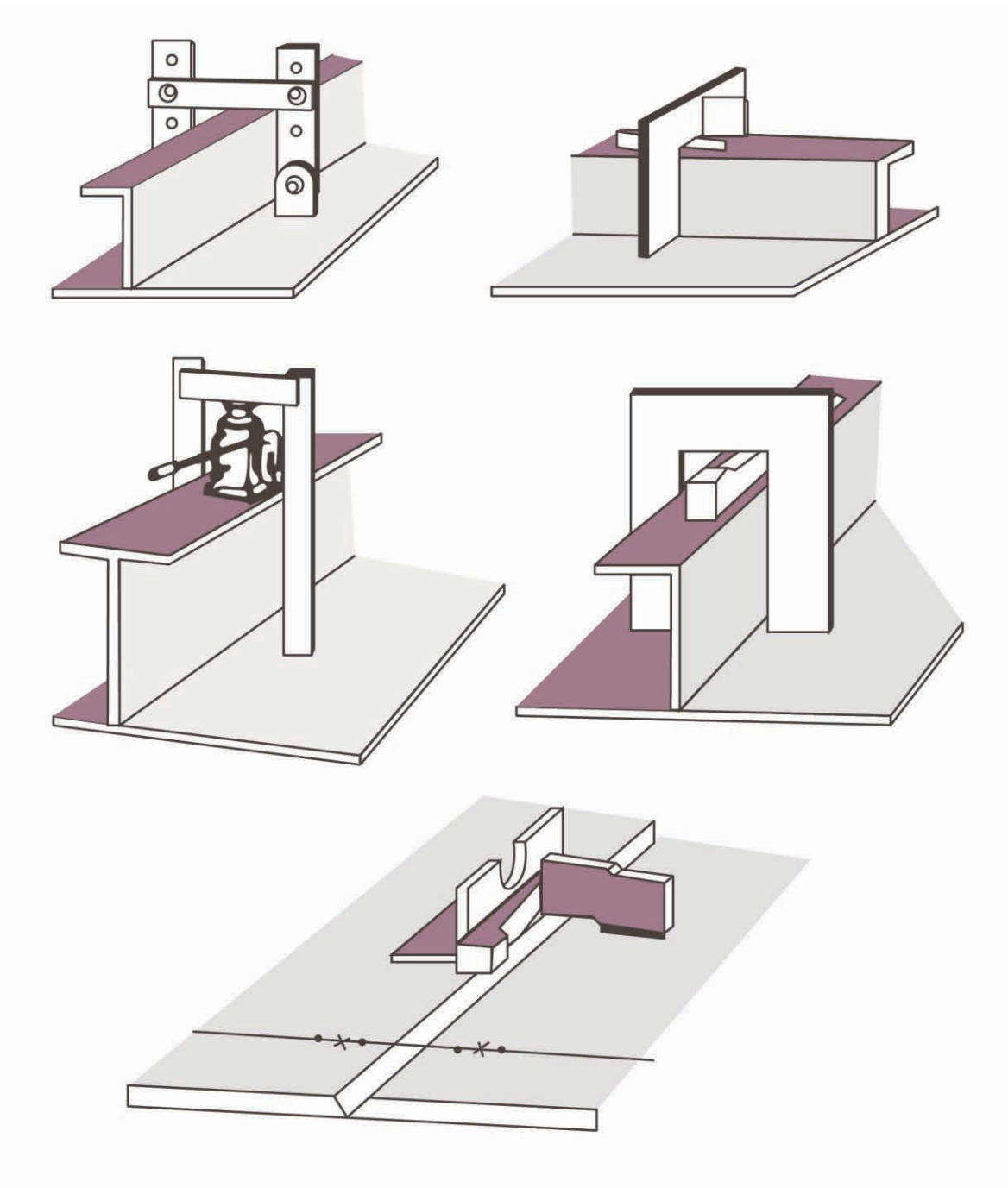
- on mugav käsitseda,
- tagab toote projekteeritud mõõtmed,

- võimaldab konstruktsioonelemente kiiresti paigaldada ja koostatud või valmiskeevitatud tooteid maha võtta,
- võimaldab kooste- ja keevitustöid ohutult läbi viia.

Joonisel 6.3 on toodud lihtsa koosterakise üldskeem.

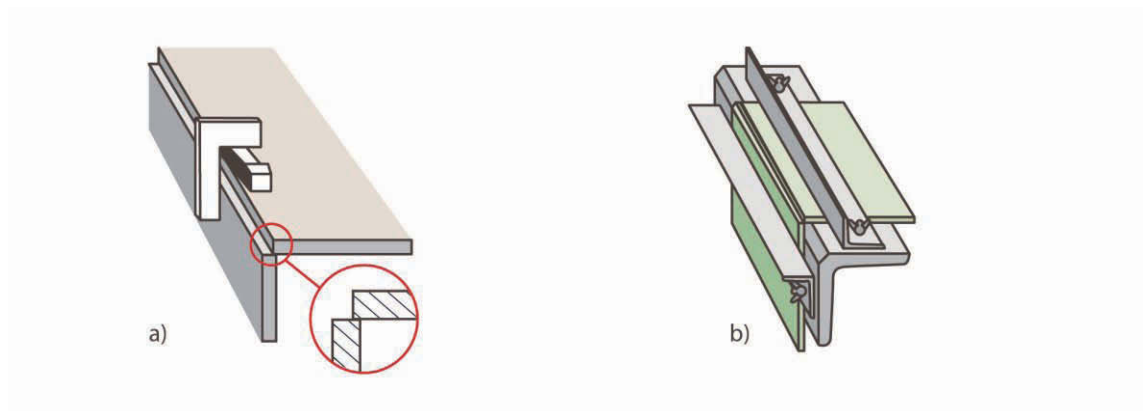


**Joonis 6.3. Koosterakis torude keevitamiseks**



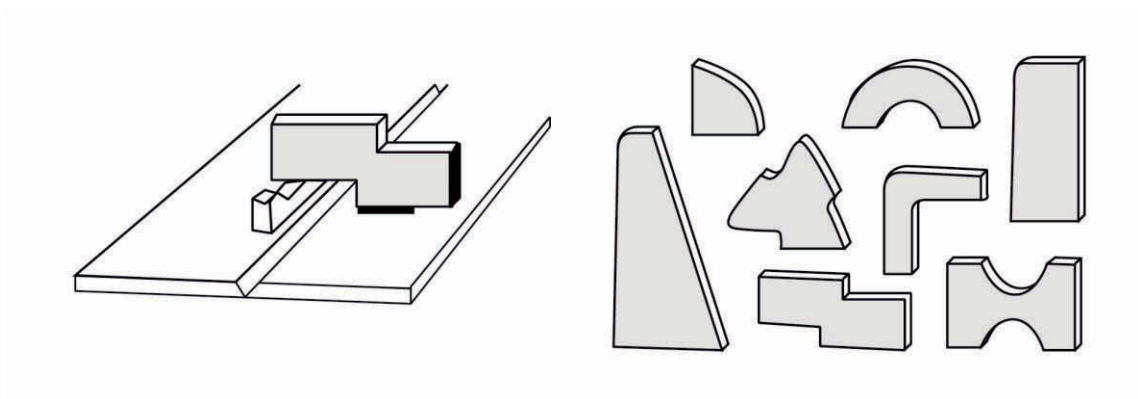
**Joonis 6.4. Keevisõmbluste koostamine kiiludega ja vajaliku õhupilu tagamine**



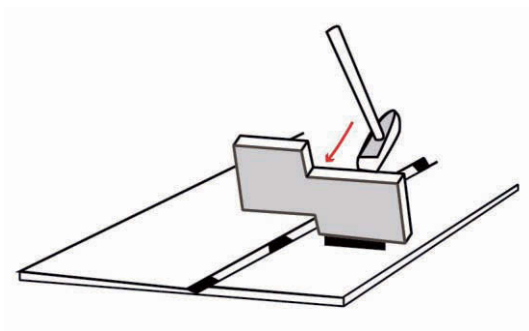


**Joonis 6.5. Nurkõmbuse koostamine keevitamiseks: a) paks materjal; b) õhuke materjal**

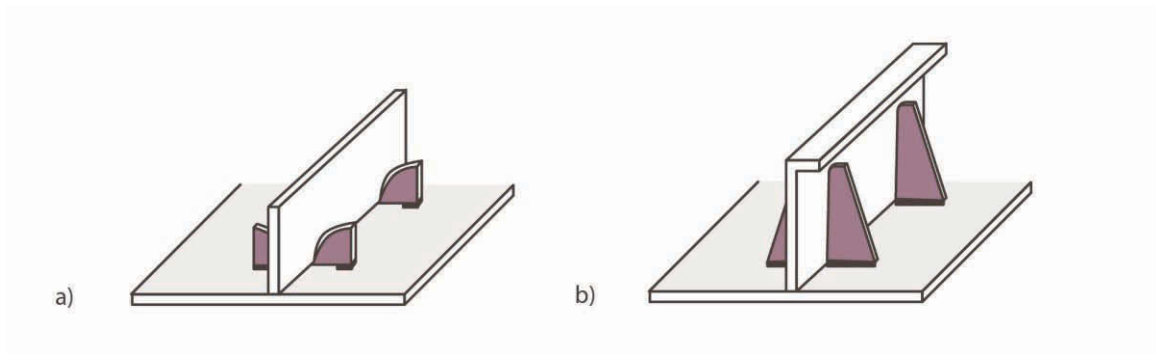
Toorikuid võib omavahel kinnitada kaarekujuliste jm kujuga abitükkide abil (joonis 6.6).



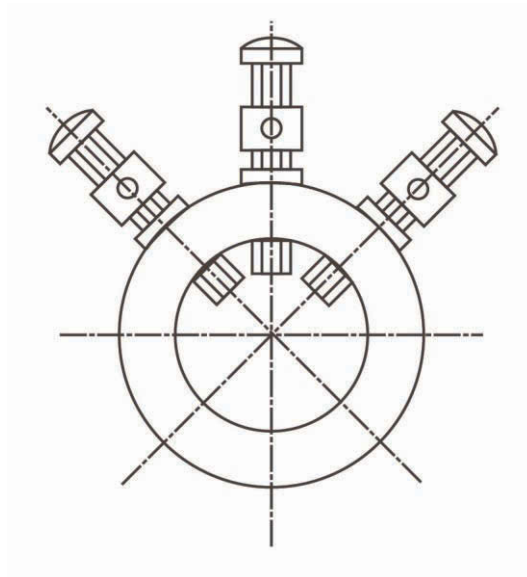
**Joonis 6.6. Abitükid detailidevahelise õhupilu tagamiseks**



**Joonis 6.7. Abitükkide eemaldamine**

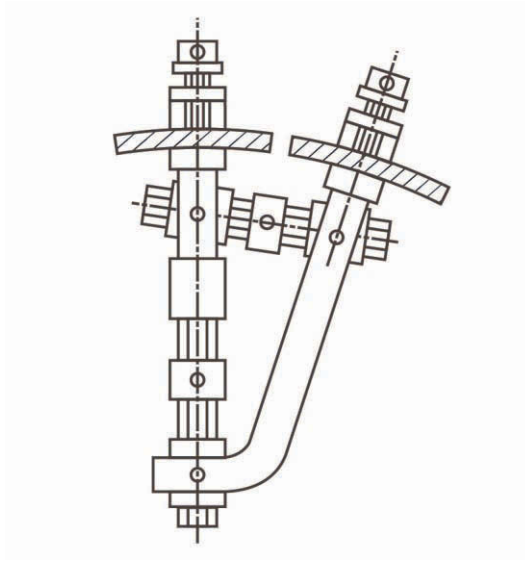


**Joonis 6.8. Nurkõmbelse koostamine abitükkide abil**



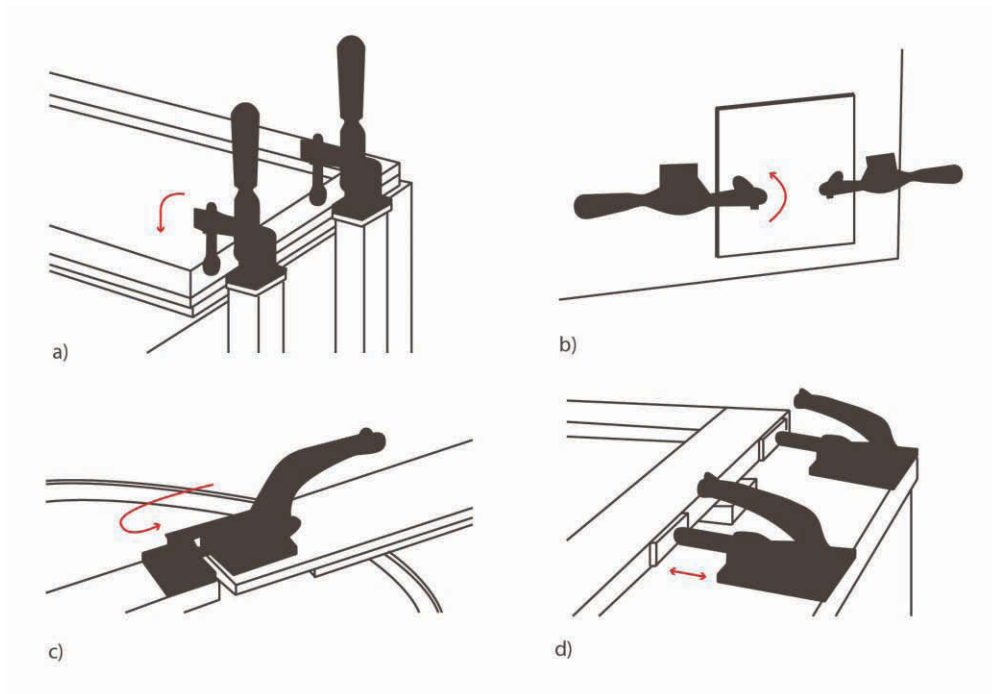
**Joonis 6.9. Silindri keevitamisel sisseasetatav ja nihutatav tugirõngas**

Suuremõõtmeliste silindriliste toorikute koostamisel võidakse vajaliku õhupilu saamiseks kasutada tõmmitsat (joonis 6.10).



**Joonis 6.10. Silindri keevitamiseks vajaliku õhupilu tagamine tõmmitsaga**

Üha laialdasemat kasutamist leiavad kiirkinnitusklambrid toorikute kinnitamiseks keevitusrakistesse, nt robotkeevitusel (vt joonised 6.11 ja 6.12).



**Joonis 6.11. Kiirklambritega kinnitamine**

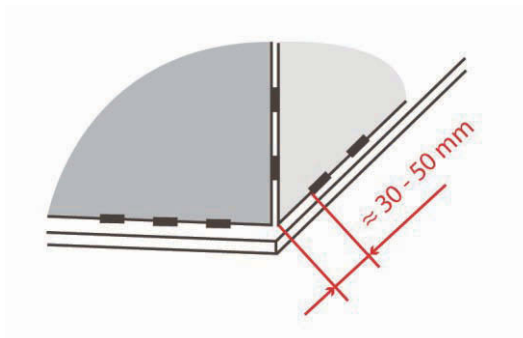


**Joonis 6.12. Tööstuslikud kiirklambrid**

### **Traagelõmbluste keevitamine ehk detailide sildamine**

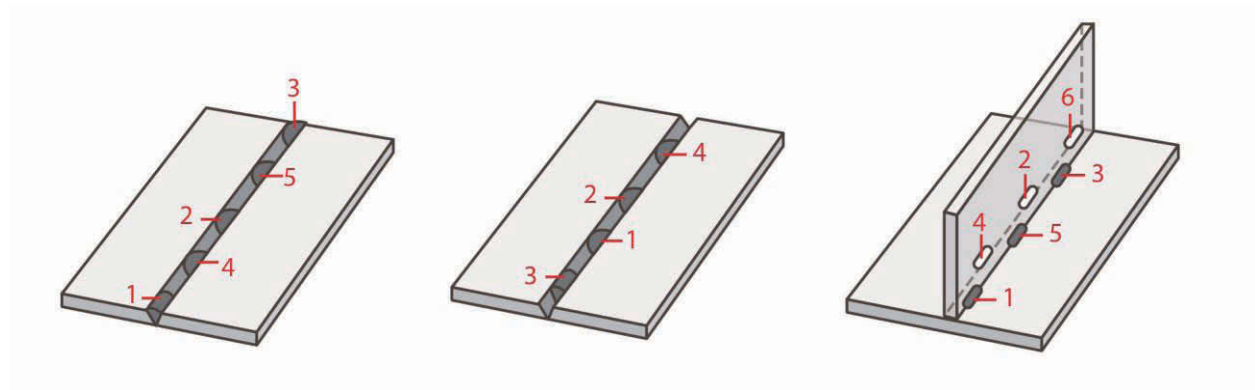
Toorikud ja detailid koostatakse vastavalt joonistele, seejuures tuleb tagada õige õhupilu detailide vahel ja detailid fikseerida lühikese traagelõmblustega ehk sildamistega. Toorikud asetatakse kas erilistele koostamislaudadele või koostestendidele, kus on võimalik neid ajutiselt poltliidete, pitskruvide, klambrite või kiiludega laua külge kinnitada. Suured toorikud asetatakse põrandale.

Toorikud kinnitatakse omavahel lühikeste traagelõmblustega. Seejuures tuleb arvestada asjaoluga, et sula keevismetall kahaneb tardumisel ja õhupilu toorikute vahel võib väheneda. Traagelõmbluste pikkus ja asukoht sõltuvad toorikute paksusest, kujust ja keevitatavast materjalist. Ehituslike metallkonstruktsioonide keevitamisel peab minimaalne traagelõmbluste pikkus olema 20 mm või 4 nurkõmbuse kõrgust. Tavaliselt sulatatakse traagelõmblused põhikeevisõmbluste sisse. Süsinikteraste keevitamisel on soovitatav traagelõmbluste vahekaugus umbes 300 mm, roostevabal terasel tingituna suuremast joonpaisumistegurist kaks korda lühem. Tavaliselt jaotatakse traagelõmblused ühtlaselt toorikute pikkuse ulatuses. Traagelõmblusti ei keevitata mahuliste konstruktsioonide nurkadesse ega toorikute ristliitekohtadesse, vaid nendest umbes 30 mm kaugusele (vt joonis 6.13).



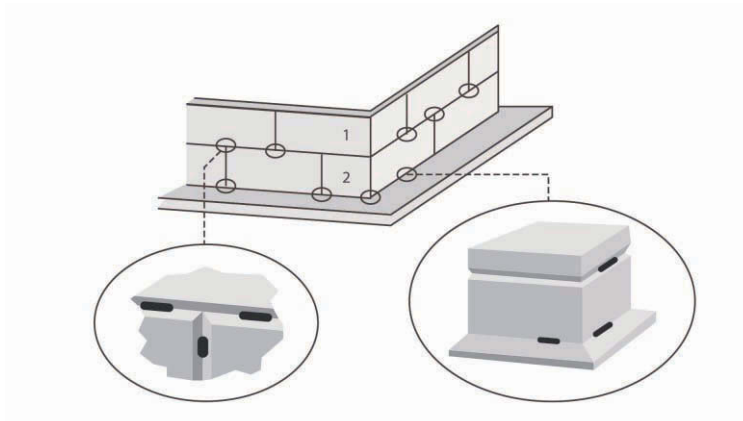
**Joonis 6.13. Traagelõmbluste asukohad**

Joonisel 6.14 on toodud plaadi põkkõmbluste ning nurkõmbluste traageldamisjärjestus.



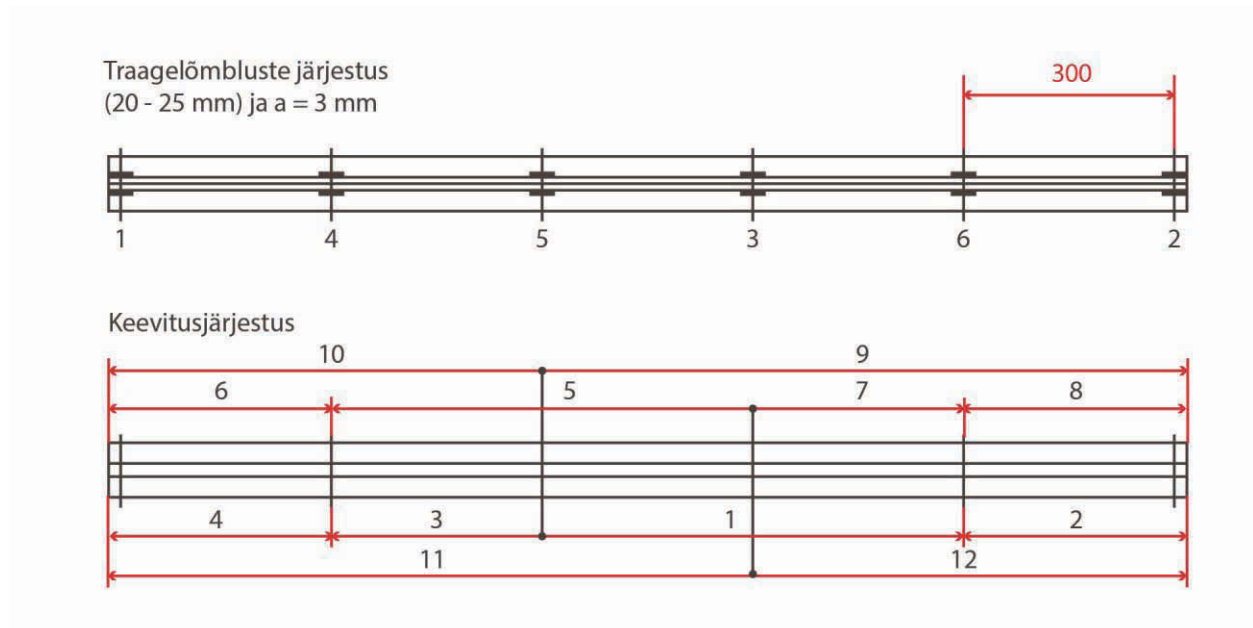
**Joonis 6.14. Põkkliidete ja nurkliite traagelõmbluste keevitusjärjestus**

Lehtmaterjalist keeviskonstruktsioonide nurgad on üldjuhul kohad, kuhu pole alati kasulik traagelliidet teha. Joonisel 6.15 on toodud lehtmaterjalist keeviskonstruktsiooni nurga ja keevitata-vate lehtede traagelõmblused ning keevitusjärjestus.



**Joonis 6.15. Lehtmaterjalist keeviskonstruktsioon**

Sõltuvalt keevitatava materjali paksusest ja konstruktsiooni kujust alustatakse traagelõmbluste keevitamist detailide otstest või keskel, soovitatavalt kindla skeemi järgi (vt joonis 6.16 T-tala skeem).



**Joonis 6.16. T-tala traagelõmbluste ja lõikudena keevitatud õmbluste keevitamise järjestus**

### Traagelõmbluste keevitamine

Tavaliselt keevitab traagelõmblusti keevitajasertifikaadiga keevitaja, kes valib keevitusparameetrid keevitusprotseduuri spetsifikaadilt (WPS-ilt). Harilikult sobib selleks ühe läbimiga keevitatud materjali protseduuri spetsifikaat WPS.

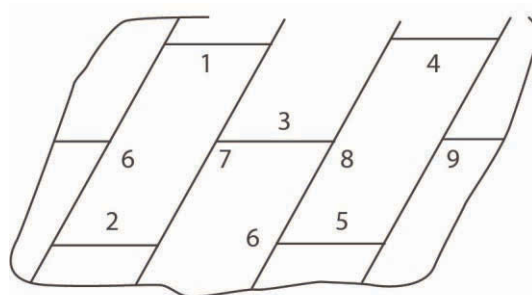
### Keevitusjärjestus ja keevitamine lõikudena

Keevitusdeformatsioonide vähendamise üheks meetmeks on keevitamine korraga mitte terve keeviliite pikkuses, vaid lõikudena ja kindlas järjestuses, keevitades õmblused tehnoloogiliselt õiges järjekorras. Deformatsioonid, mis tekivad pärast esimese õmbluse keevitamist, saavad tasakaalustatud järgmise õmbluse keevitamisel tekkiva vastupidise deformatsiooniga.

Enne keevitamise alustamist tuleb läbi mõelda keevitusjärjestus. Selle all mõeldakse paksema materjali korral keevisläbimite –keeviskihtide arvu ja nende keevitamise järjekorda, aga ka erinevate keevisõmbluste keevitamise järjekorda. Keevisläbimi paksus sõltub keevitusvoolust ja

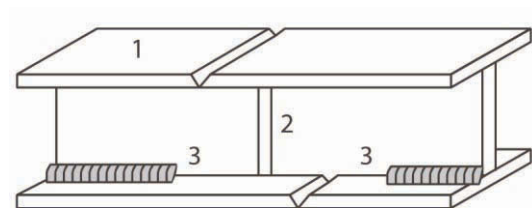
keevitaja sooritustehnikast – kas keevitatakse sirge nn niitlâbim või elektroodi otsa vöngutades paksem ja laiem keevislâbim. Paksu keevislâbimi keevitamisel saadakse suurem nurkdeformatsioon ja sageli jämedateraline keevisliite strktuur. Reegliks mitmekihilise, nt V-ömblyse keevitamisel on see, et kasutatakse sirget elektroodi liikumise tehnikat ja väiksemat keevitusvoolu esimese lâbimi ehk juurelâbimi keevitamisel. Sageli tuleb pinnakiht keevitada kahe keevislâbimiga, kusjuures üks neist on umbes 2/3 üldlaiusest ja teine 1/3.

Õhukesest lehtmetailist mahutite, korpuste jm toodete korral tuleb arvestada nende võimaliku deformeerumisega ja väljakummisega keevitamise tulemusena. Kui keevitatakse üksteise suhtes nihutatud lehtmetailist toorikuid, siis tuleb järgida kindlat keevisömblyste keevitamise järjestust. Kõigepealt keevitatakse kokku plaatide lühemad otspinnad ja seejärel lõikudena pikemad külgpinnad (vt joonis 6.17) ehk kasutatakse kindlat keevitusjärjestust.



**Joonis 6.17. Lehtmetailist toote keevisömblyste keevitamise järjestus. Numbrid näitavad ömblyste keevitamise järjekorda**

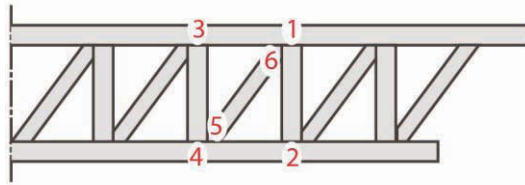
Keevisömblyste keevitamise järjestusega tuleb arvestada suuremate I-talade juures (vt joonis 6.18).



**Joonis 6.18. I-tala jätkamine**

Kõigepealt keevitatakse tala ristsuunas asetsevad ömblysed. Nii tagatakse vajalik õhupilu detailide vahel; seejärel keevitatakse pikisuunalised ömblysed.

Metallkonstruktsiooni liidete keevitamisel tuleb arvestada konstruktsiooni jäikust; seda tüüpi liidete keevitusjärjestus on toodud joonisel 6.19.



**Joonis 6.19. Konstruktsiooni keevitusjärjestus**

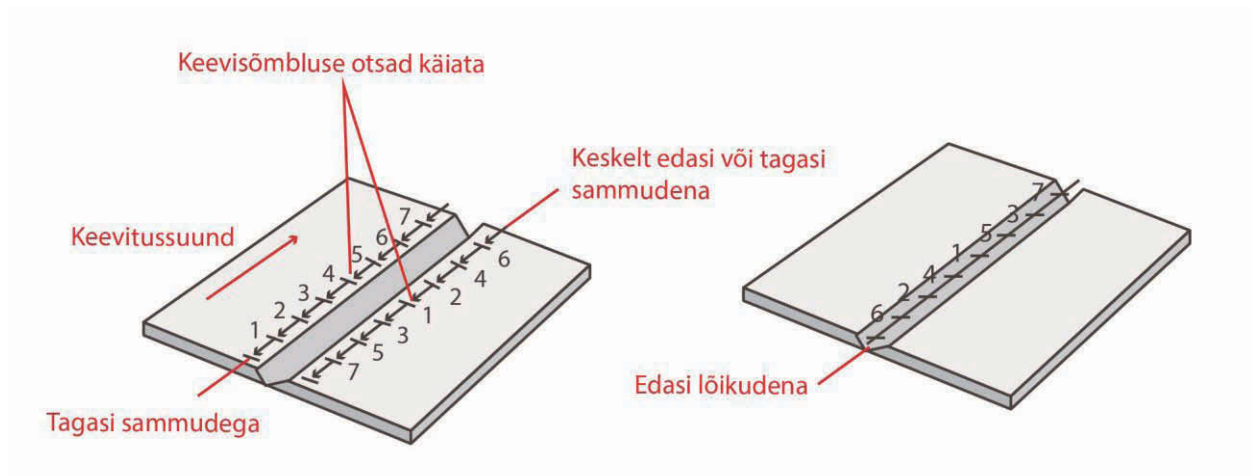
Keevitusdeformatsioonide vähendamiseks eelistatakse keevitamist lõikudena. Eriti levinud on vastusammuga keevitamine.

**Keevisõmbuste keevitamisel lõikudena on soovitatav juhinduda järgmisest:**

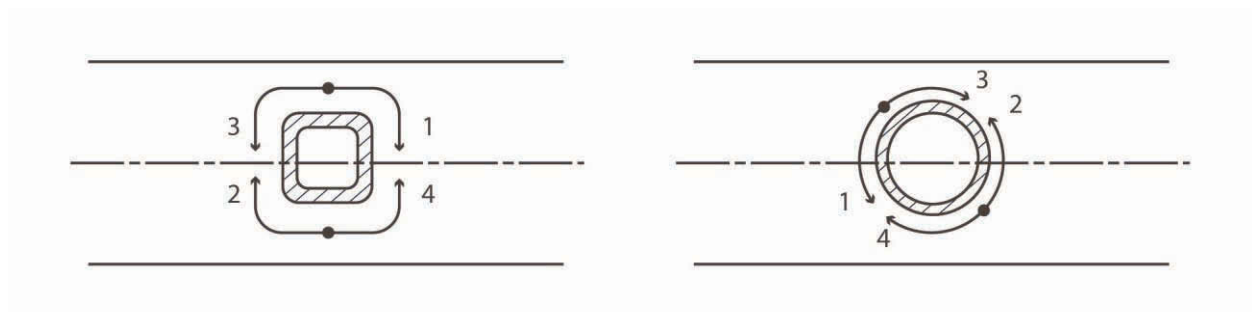
1. Kuni 500 mm pikkused õmbused keevitatakse ühe korraga terve pikkuse ulatuses.
2. 500...1000 mm pikkuseid õmbusi keevitatakse õmbuse keskaigast lähtudes mõlemale poole 2 lõiguga.
3. Pikemad kui 1000 mm õmbused keevitatakse lõikudena vastusammuga või keerulisema seemi järgi.
4. Nii T-talade kui ka torudest konstruktsioonide keevitamisel ei lõpetata keevisõmblust mitte toote nurkades, vaid keevitatakse ümber nurga (vt joonis 6.21). Ehituslike metallkonstruktsioonide valmistamisel on soovitatav ülekatte pikkus vähemalt 2 nurkõmbuse kõrgust.

Joonisel 6.20 on toodud keevituse järjestus põkkliite keevitamiseks.



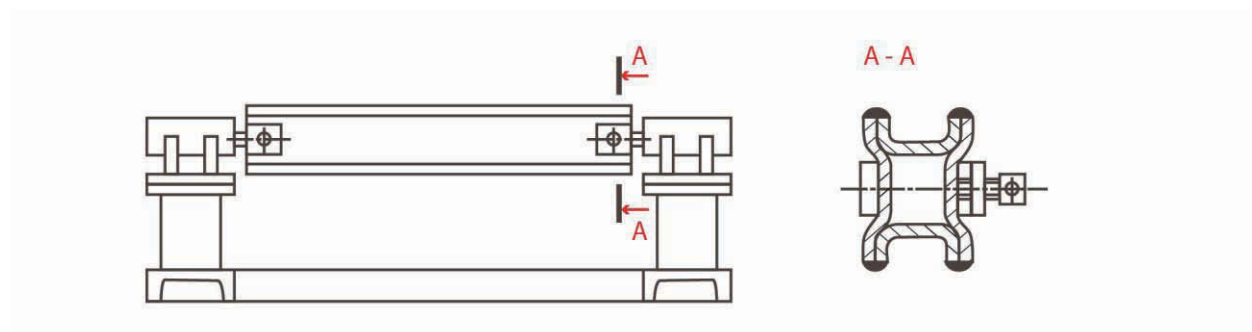


**Joonis 6.20. Keevitusjärjestus põkkliidete keevitamisel**



**Joonis 6.21. Nelikanttorudest ja ümartorudest konstruktsiooni keevitamine löikudena**

Alati tuleb eelistada keevitamist allasendis. Selleks võib koostatud toorikute pööramiseks kasutada positsioneere, pöördlaudu jm seadmeid (joonis 6.22). Silindriliste mahutite ringõmbbluste keevitamisel võib toorikutele anda vastavate rullikutega (vt joonis 6.23) pöörlev liikumine. Keevitaja seisab kõrgemal alusel ja allasendis liigub toorik keevituspüstoli alt läbi ühtlase kiirusega. Keevitaja saab käes oleva juhtpuldi abil tooriku pöörlemise peatada.



**Joonis 6.22. Positsioneer keevistoodete pööramiseks allasendis**



**Joonis 6.23. Silindriliste konstruktsioonide keevitamise rullikud**

## **6.2 Keevitusprotseduur ja keevitaja kvalifikatsioon**

### **Keevitusprotseduur**

Keevitamist loetakse kvaliteeditehnika seisukohalt eriprotsessiks, kuna ei ole võimalik keevistooteid täielikult kontrollida või osutuks see liiga kalliks. Seetõttu kasutatakse lähenemist, kus erinevat tüüpi keevisõmbuste keevitustehnoloogia andmed kantakse vastvatele tehnoloogiakaartidele ehk keevitusprotseduuri spetsifikaatidele, mille tähistus on WPS. Sageli kasutatakse ka terminit „keevitusprotseduur“. Keevitusinsener koostab kogemuste ja keevitajalt saadud info põhjal esialgse protseduuri spetsifikaadi, mida tähistatakse pWPS. Tavaliselt lastakse ettevõttes keevitajal keevitada proovikehad ja parima tulemuse andnud keevituste parameetrid kantakse kaardile. Andmete õigsust sellel kaardil kontrollitakse üldjuhul katseliselt proovikehade keevitamise ja katsetamisega. Selleks pöörduakse tunnustatud atesteerimiskeskuste poole. Atesteerija ehk eksaminaatori juuresolekul keevitatakse esialgsel protseduuril toodud keevitusparameetritega proovikehad. Proovikehasid kontrollitakse põhjalikult mittepurustava kontrolli meetoditega, aga katsetatakse ka tõmbe-, painde- ja löökpaindekatses keevisõmbusest välja lõigatud katsekehasid. Positiivsete katsetulemuste korral kiidetakse antud protseduur heaks ja selle kohta antakse välja keevitusprotseduuri heakskiidu protokoll, tähistatud lühendiga WPQR. Nüüd muutub protseduur kehtivaks ja selle põhjal saab keevitajale välja anda tööjuhendeid. Praktikas ei koostata mingeid eraldi juhendeid, vaid WPS-i kasutatakse vahetult tootmises. Kui keevitaja läheb tegema keevitaja eurosertifikaati, siis antakse talle kaasa keevitusprotseduur WPS-i kujul.

**Miks on keevitusprotseduur vajalik?** WPS-i olemasolu ettevõttes näitab nii tellijatele kui ka järelevalveasutustele, et kindlate keevisõmbuste keevitustehnoloogia on läbi mõeldud ja katseliselt kontrollitud. Pädev keevitaja, kellel on vastav sertifikaat ehk tunnistus, peab suutma valmis-

tada WPS-il toodud info alusel kvaliteetseid keevisõmbusi. Ühtlasi näitab keevituprotseduuride olemasolu ettevõtte võimekust valmistada kvaliteetseid keevistooteid.

Keevitusseadmete ja -materjalide valmistajad on lihtsamate keevisõmbuste kohta toonud turule standardsed keevitusprotseduuride spetsifikaadid, mida teatud juhtudel ka kasutatakse.

### **Keevitaja ja WPS**

Keevitaja oskab kasutada WPS-i, mille põhjal ta valib sobiva keevituselektroodi või -traadi, kaitsegaasi, detailide servade kuju, keevitusparameetrid, ettekuumutuse temperatuuri jm. Tuleb märkida, et keevitusvool ja kaarepinge võivad praktikas erineda kaardil toodust kuni 10%. Joonisel 6.23 on toodud keevitusprotseduuri spetsifikaadi näide.

#### **Keevitusprotseduuri spetsifikaat (WPS)**

Keevitusprotseduuri spetsifikaadi tähis:

010/2007

Ettevalmistus- ja puhastusmeetod:

käimine

WPQR No:Q135/15/07

Põhimaterjali tähistus: S355J2G3

Tootja: OÜ Ise

Elektroodimetalli siirde viis (MAG)

Materjali paksus (mm): 6,0

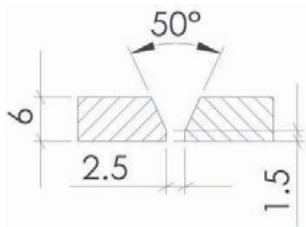
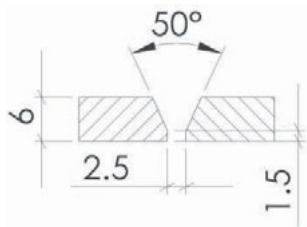
Lühikaar D, pihustuskaar S

Välisläbimõõt (mm):

Liite ja õmbuse tüüp BW

Keevisõmbuse asend: PA

Keevise ettevalmistuse üksikasjad (visandid\*)

Liite visand	Keevitamise järjestus
	

Keevitamise üksikasjad

Läbim	Prot- sess	Lisa- metalli mõõt- med, mm	Voolu- tugevus A	Pinge V	Voo- lu liik/ po- laar- sus	Traadi etteande -kiirus m/min	Keevitus- kiirus, läbi- mi pikkus (ROL) cm/min	Soojus- sisestus* kJ/mm
1	135	1,0	120-130	18,5-19,5	DC+	4,3,	100	0,5
2	135	1,0	205-210	25,5-26,5		8,3	30	0,85

Keevitusmaterjalide märgistus ja valmistaja: Elgamatic 100,G3Si1

Erikuumutamine või -kuivatamine:

Muu informatsioon\*

Gaasi/räbusti tähistus:

kaitsel: M21(80%Ar+20%CO<sub>2</sub>, nt põleti

liikumine (läbimi maks laius)

AGAMIX 20

juurel:

Võngutamine: amplituud, sagedus,

peatumisaeg:

Gaasikulu: kaitsel: 12-14

Impulsskeevituse parameetrid:

juurel:

Voolukontakti kaugus/: 12-15 mm

Sulamatu elektroodi tüüp/mõõtmed:

Plasmakeevituse parameetrid:

Juuretoe ja juure avamise andmed:

Põleti kaldenurk: 15°,vedav tehnika

Ettekuumutustemperatuur:

Läbimitevaheline temperatuur: maks 250 °C

Järeftermotöötus:

Ettekuumutuse hoidmistemperatuur:

Keevitusjärgne termotöötlus ja/või

vanandamine: (aeg, temperatuur, meetod:

Tootja: Nimi, kuupäev, allkiri

Eksamineerija:

### **Joonis 6.23. WPS-i näide**

#### **Keevitaja kutsetunnistus ja sertifikaat**

Keevitaja kutseoskusi ehk pädevust hinnatakse praktilise töö keevitamise ja kontrollimise abil. Keevitaja kutsepädevust saab tõendada kahel viisil: keevitaja kutse taotlemisega läbi kutseõppe ja töökogemuse või keevitaja sertifikaadi kaudu rahvuvaheliste standardite alusel. Mõlema pädevushindamise aluseks on edukas proovitöö. Keevitaja kutsetunnistus eeldab oskust keevitada vähemalt kahe keevitusprotsessiga ja laialdasi teoreetilisi teadmisi. Kutse taotlemine võib toimuda vastava kutseõppeasutuse õppekava läbimisega. Kutse andmine toimub riiklikult tunnustatud kutseandjate poolt. Kutsete süsteem võimaldab arendada keevitajat keerulisemate tööde tegemiseks.

Keevitaja kutseoskused tööstuses tagatakse sellega, et nad läbivad edukalt kvalifitseerimiskatse ehk atesteerimise ja saavad keevitaja sertifikaadi. Nõuded keevitaja sertifikaadi taotlemiseks teraste keevitamisel on toodud standardites EVS EN 287-1 ja EVS EN ISO 9606-1. Alates 2015. aasta oktoobrist tuleb üle minna standardile ISO 9606-1. Keevitaja teoreetiliste teadmiste kontroll ei ole kohustuslik. Keevitaja sertifikaat on piiratud kehtivusega (kuni 3 aastat) ja seda on võimalik tühistada. Iga 6 kuu tagant kinnitab ettevõtte keevitustööde juht, keda nimetatakse keevituskoordinaatoriks, tehtud tööde kvaliteedi. Tõendamise aluseks on keevitaja poolt tehtud kvaliteetsed keevisõmblused. Keevitaja sertifikaadi taotlemine on tasuline.

Keevitaja sertifikaadi taotlemisel tuleb kas oma ettevõttes või määratud keevituskeskuses eksaminaatori juuresolekul keevitada kindlate mõõtmetega proovikehad. Teraste keevitamisel võetakse suuremad kui 200x125 mm plaadid ning vähemalt 125 mm pikkusega torud. Keevitusparameetrite seadistamiseks on keevitajal käepärast keevitusprotseduuri spetsifikaat.

Pärast proovikehade keevitamist kontrollitakse neid visuaalselt ja positiivse otsuse korral uuritakse röntgenmeetodil (põkkõmblused) või makrolihvidel. MIG/MAG-keevitatud proovikehi võidakse purustada murdele pressi all, avastamaks servade kokkusulamatust jt keevitusdefekte.

Keevitaja edukas kvalifitseerimiskatse määrab küllaltki laiad pädevuspiirid. Nii tuleb arvestada keevitatava proovikeha paksusega, keevisläbimite arvuga, keevitusasenditega jm. Näiteks keevitades edukalt plaadil paksusega 6 mm põkkõmbluse, laienevad kehtivuspiirid plaadile paksustevahemikus 3...12 mm. Kehtivuspiirid määratakse standardi tabelite abil ja kantakse väljaantud tunnistusele, mida selle erilise vormi järgi nimetatakse keevitaja sertifikaadiks. Nii keevitaja kui ka tööandja peavad teadma kehtivuspiire ja kvalifitseerimise aluseid. Arvestada tuleb järgmiste põhimõtetega:

1. Kvalifitseeritakse ühe katsega ainult ühele keevitusprotsessile.
2. Sõltuvalt ettevõttes tehtavatest keevitustöödest ja keevitaja suutlikkusest, valitakse, kas keevituskatsel keevitatakse toru või plaati. Toru keevitamine on keerulisem ja võib anda kvalifikatsiooni ka plaadi keevitamiseks, kuid mitte vastupidi.
3. Sõltuvalt tehtavatest keevitustöödest, valitakse, kas keevitatakse põkk- või nurkõmblust. Ühe kvalifikatseerimiskatse raames võidakse keevitada samade keevitusparameetritega nii põkk- kui ka nurkõmblus ja antakse välja ühine sertifikaat.
4. Kehtivuspiiride määramisel tuleb ISO 9606-1 arvestada lisamaterjali grupiga, mis määrab ka keevitatavate põhimaterjalide grupid. See tingimus on suur erinevus võrreldes varasema standardiga, kus määravaks olid põhimaterjali grupid.
5. Mitme läbimiga keevitatud proovkehad annavad laiemad kehtivuspiirid ja on eelistatumad.
6. Tuleb arvestada nii keevitusasenditega kui ka keevisläbimite teostamise tehnikaga.

Allpool on tabelis 6.1 toodud näide keevitaja kvalifikatsiooni tähistusest MAG-keevituse näitel.

**Tabel 6.1. Keevitaja kvalifikatsioon on: EVS EN ISO 9606-1 135 P FW FM S t10 PB ml**

Tähis	Selgitus		Kehtivuspiirid
135	Keevitusprotsess	135	135, 138

<b>Tähis</b>	<b>Selgitus</b>		<b>Kehtivuspiirid</b>
	Kaare tüüp ja siire	D (lühikaar)	D,G, S,P
P	Toote tüüp: plaat	P	P T
FW	Keevisõmbuse tüüp	Nurkõmbus – FW	FW (nurkõmbus)
	Põhimaterjali grupp vastavalt	Materjali grupp 1.2	1-11
FM1	Lisamaterjali grupp	FM1	FM1, FM2
	Lisamaterjali tähistus	Täistraat – S	S, M
	Kaitsegaasi rühm	M21	–
	Abimaterjalid	–	–
	Keevitusvoolu tüüp, polaarsus	DC+	–
t10	Materjali paksus (mm)	10	>=3 mm
	Keevismetalli paksus	–	–
	Toru välisläbimõõt	–	>=500 mm
PB	Keevitusasend	PB	PB, PA
	Keevisõmbuse üksikasjad	–	–
Ml	Keevituskihtide arv	Mitmekihiline – ml	ml,sl

Keevitaja püsivaid kutseoskusi peab ettevõtte keevituskoordinator ehk keevitusinsener kinnitama sertifikaadil oma allkirjaga iga 6 kuu järel. Sertifikaadi pikendamiseks annab standard ISO 9606-1 kolm valikut, mida tuleb kinnitada kvalifitseerimise avalduses ja sertifikaadil.

Esimene võimalus näeb ette proovikeha keevitamise ja katsetamise iga 3 aasta tagant.

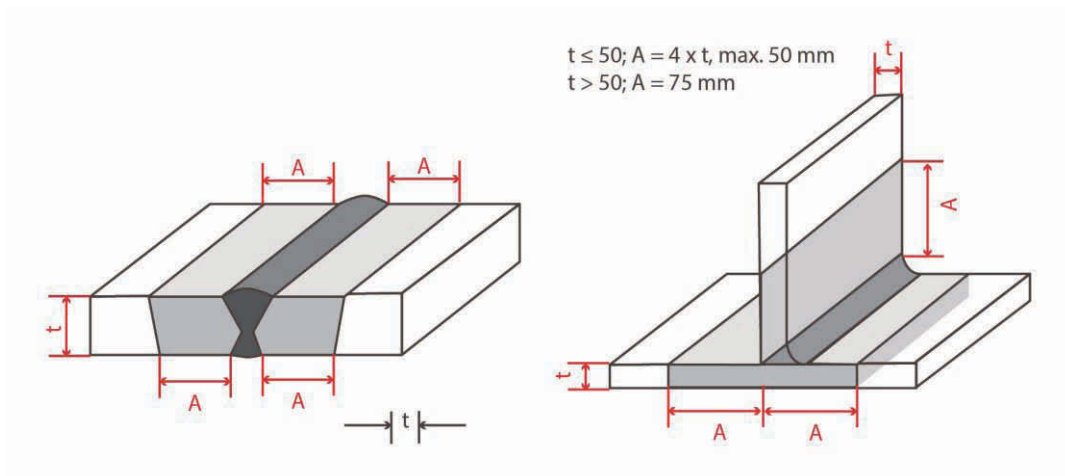
Teine meetod põhineb 2-aastasel perioodil, mille viimase 6 kuu jooksul kehvuspiirides keevitatud 2 keevisõmblust kontrollitakse radiograafia või ultrahelikontrolliga. Positiivsete katsetulemuste korral pikendatakse sertifikaati 2 aasta võrra esmase atesteerimise teinud keskuse poolt.

Kolmas, teoreetiline võimalus, näeb ette, et kui iga 6 kuu järel on ettevõtte keevituskoordinaator kinnitanud, et keevitaja on töötanud antud ettevõttes sertifikaadi kehvuspiirides ja valmistanud ning dokumentidega kinnitanud aktsepteeritava kvaliteediga keevisõmblusi, siis võib esialgse sertifikaadi väljaandja seda pikendada. Seejuures tootjal peab olema tõendatud ja toimiv keevituse kvaliteedisüsteem ISO 3834-2 või ISO 3834-3 järgi.

### **6.3 Ettekuumutus ja järelkuumutus keevitustöödel**

Suure voolavuspiiriga teraste ( $R_e > 360 \text{ N/mm}^2$ ) paksude plaatide (tavalisemalt paksemad kui 30 mm) ja madallegeerteraste keevitamisel võivad pärast keevitamist tekkida keevisõmbluste kõrval nn külmpraad ehk vesinikpraod (vt ptk 2.2), mille vältimiseks tuleb toorikud keevisliite servade läheduses ette kuumutada. Ettekuumutuse temperatuur sõltub terase keemilisest koostisest (vt süsinikekvivalent), materjali paksusest, keevituse soojussisestusest ja keevisliite tüübist. Ettekuumutustemperatuur on tavaliselt tooriku temperatuur 75 mm kaugusel liite servadest enne keevitamise alustamist (vt joonis 6.24). Ettekuumutustemperatuur antakse tavaliselt keevitusprotseduuri WPS-il.



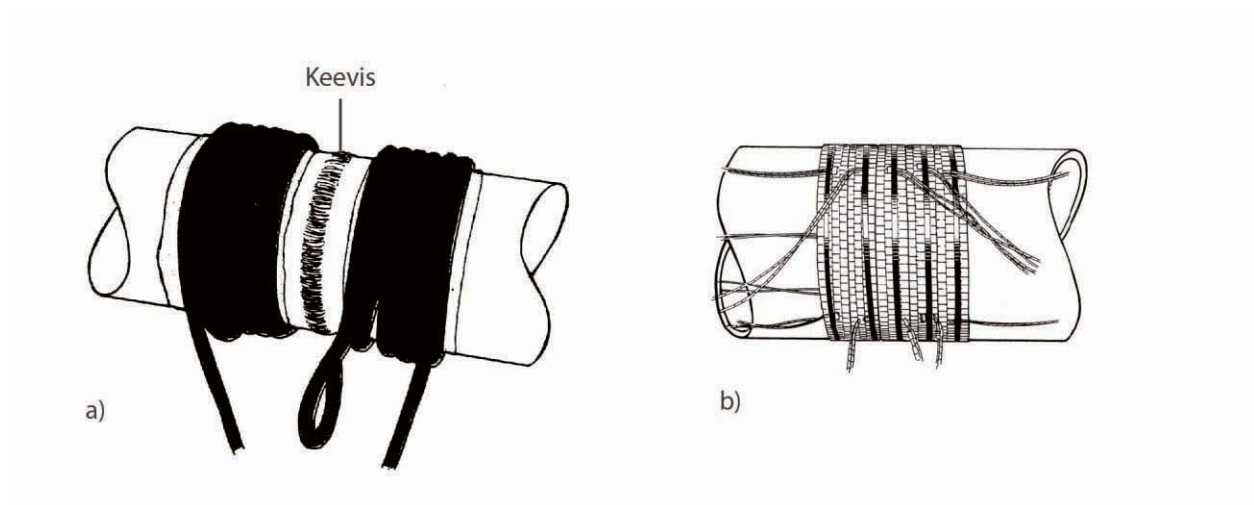


**Joonis 6.24. Ettekuumutustemperatuuri mõõtmise kohad õhemal ja paksemal plaadil**

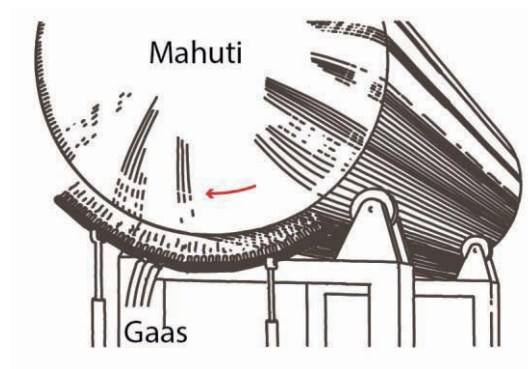
Eristatakse veel läbimitevahelist temperatuuri, mis on mitme läbimiga keevitamisel põhimaterjali servade temperatuur enne järgneva läbimi keevitamist.

Liite servade ettekuumutust on vaja kasutada teraskonstruktsioonide keevitamisel  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  madalamal välistemperatuuri korral. Tugevast terasest paksude plaatide gaas- ja plasmalõikusel võib olla vajalik lõikekoha ettekuumutus pragude vältimiseks lõikepinnas. Ettekuumutustemperatuuri saab mõõta erinevate kontakt- või kontaktivabade mõõteriistadega.

Ettekuumutamiseks võib kasutada ahikuumutust või siis lokaalset kuumutust gaasileegiga, kuumutust pöörivooludega ehk induktioonkuumutust või takistustraadist elementidega kuumutusmatte. Levinud on kuumutamine gaasipõletitega, kus kasutatakse põlevgaasina propaani või atsetüleenini ning hapniku segu. Atsetüleenini-hapniku kasutamisel võidakse saada kuumutustemperatuur kuni  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , atsetüleenini-suruõhu kasutamisel kuni  $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ , atsetüleenini-õhu kasutamisel kuni  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sageli kasutatakse silindriliste mahutite ja ka jämedate torude kuumutamiseks mitme põletiga rõngaskuumuteid (vt joonis 6.26).



**Joonis 6.25. Detailide ettekuumutus: a) induksioonkuumutusega, b) kuumutusmattidega**



**Joonis 6.26. Rullikutel pöörleva silindri ettekuumutus gaasipõletitega**

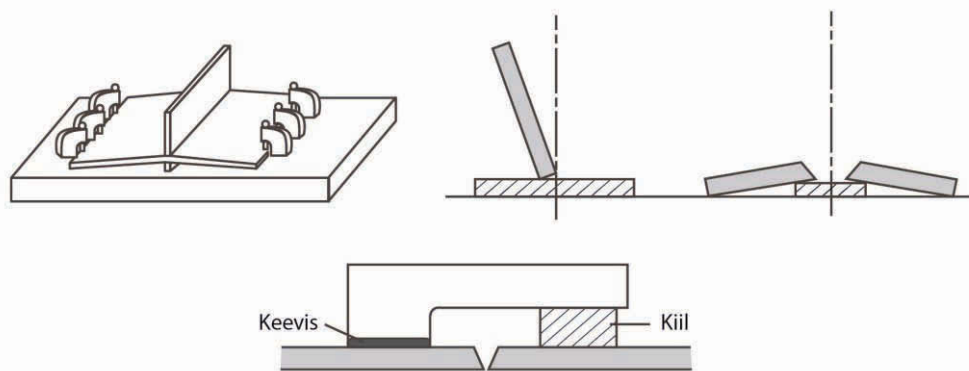
Teatud juhtudel võidakse keevitamisel tekkinud sisepingete kõrvaldamiseks ja mõõtmete stabiliseerimiseks kasutada keevistoodete jältermotöötlust. Kuumutustemperatuur sõltub terase margist ja antakse sageli tootja poolt. Ruukki soovitab sisepingeid eemaldavat lõõmutust teha vahemikus 550...600 °C, mõnel juhul ka kuni 950 °C.

### **Keevitusdeformatsioonide vähendamine**

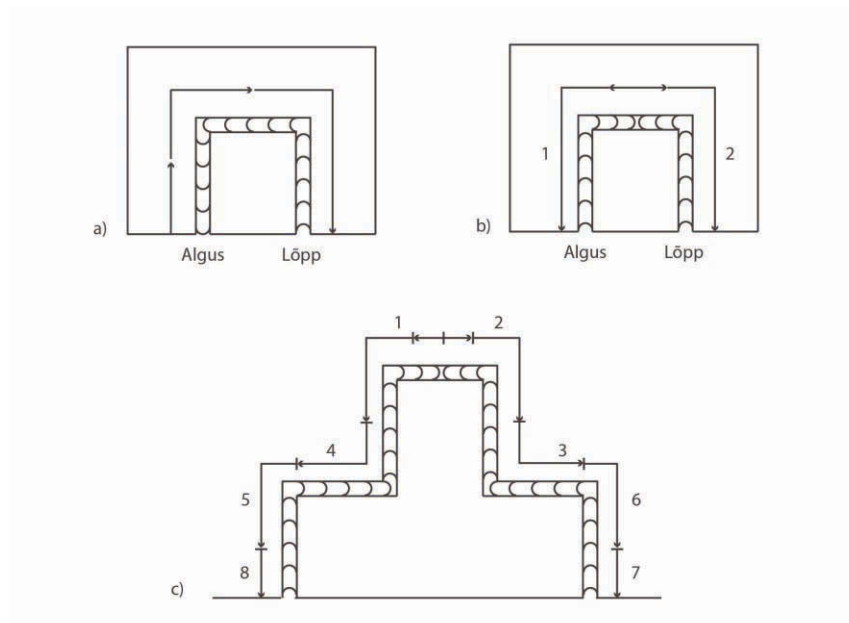
Keevitusdeformatsioone tuleb hoida kontrolli all ja vajadusel neid vähendada. Seda on võimalik teha enne keevitamist, keevitamise ajal ja pärast keevitamist.

**Enne keevitamise alustamist ja keevitamise ajal saab vähendada kõverdumist:**

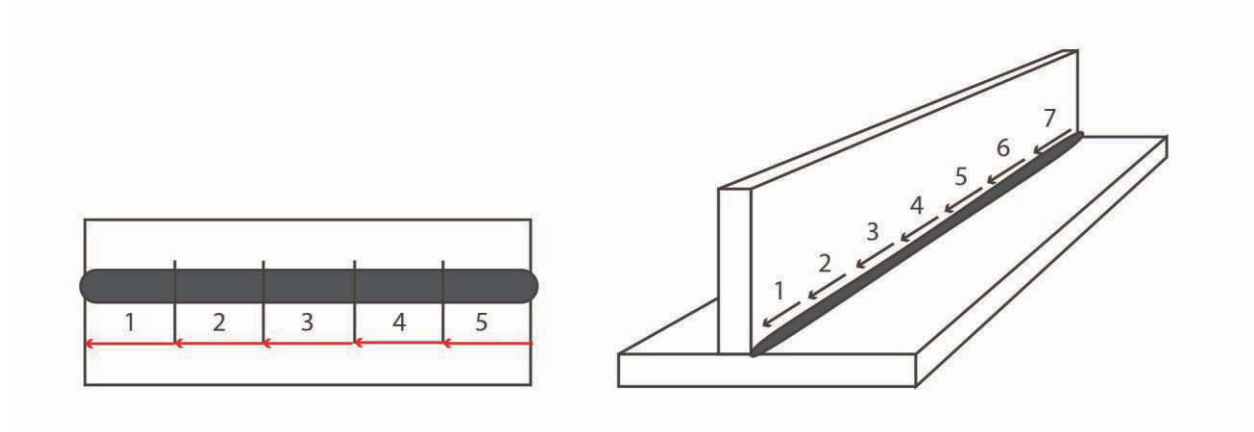
- 1) Kinnitades detailid jäigalt rakistesse või piirates detailide liikumist ühes suunas nt kiiludega jm.
- 2) Vastupidiste deformatsioonide (läbipainde) või kaldenurga andmisega (joonis 6.27).
- 3) Alustades keevitamist toote jäigemast osast ja keevitades lõikudena vabade servade poole (joonis 6.21) vastusammuliste lõikudena (joonis 6.28).
- 4) keevitades võimalikult väikese soojussisestusega, vähendades läbimite ristlõiget, ja suurema arvu läbimitega.



**Joonis 6.27. Vastupidise kalde andmine detailidele ja nende kiiluga õgvendamine**



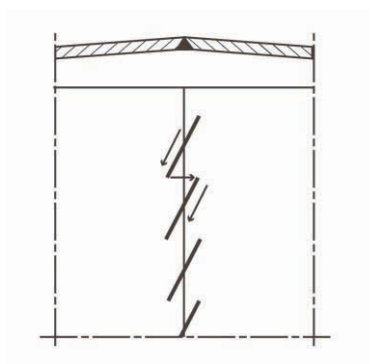
**Joonis 6.28. Keevitamine lõikudena. Numbritega on näidatud lõikude keevitamise järjestus: a) ebasoovitav keevitussuund, b ja c) soovitatavad keevitussuunad**



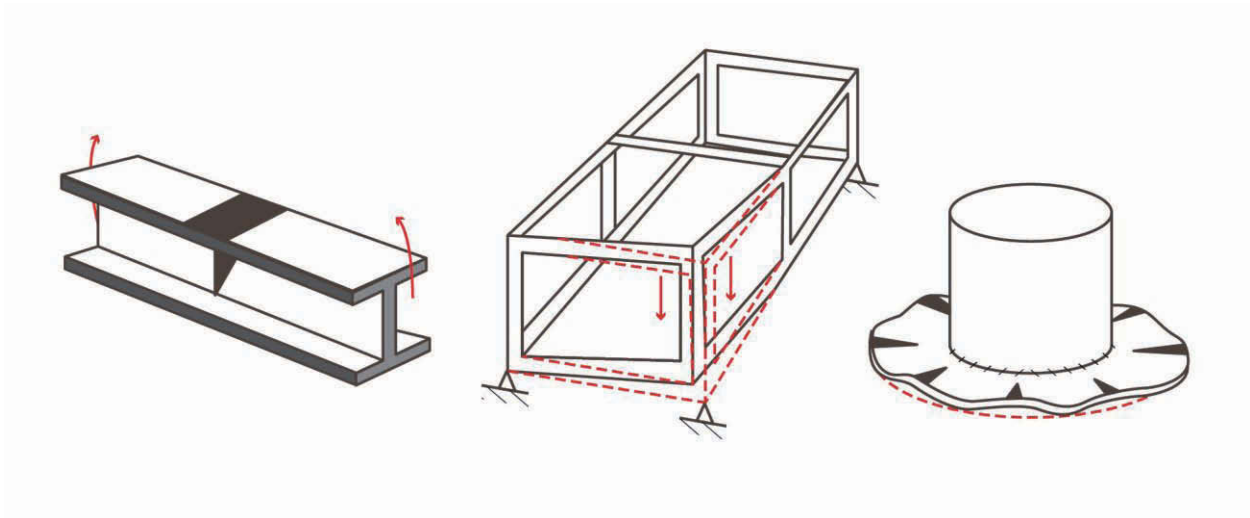
**Joonis 6.29. T-tala keevitamine vastusammuga lõikudega. Numbrid näitavad lõikude keevitusjärjestust**

**Keevitamise järel** saab vähendada kõverdumist järgmiste võtetega:

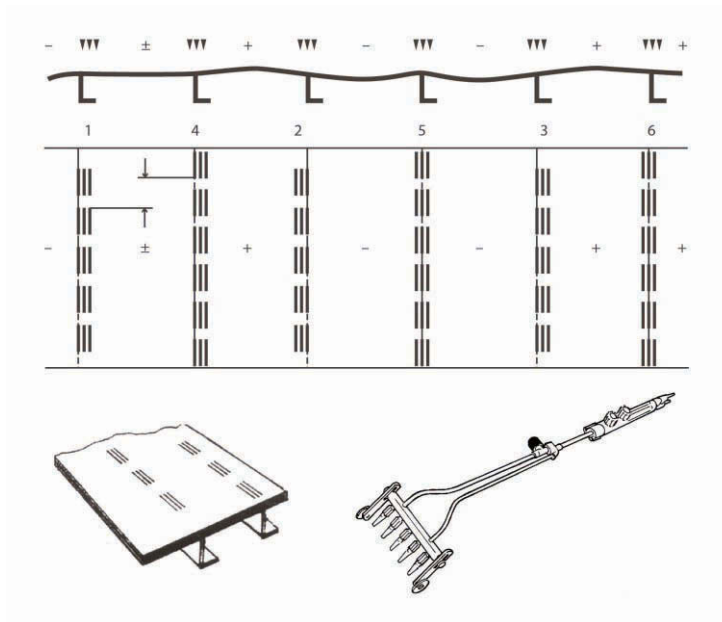
- mehaanilise õgvendamisega presside, tungraudade jms abil,
- õmbluse lähiala rullimise, valtsimise või haamritega läbitagumise teel, mis vähendab tõmbe- pingeid ja venitab metallikiude pikemaks,
- kiilkuumutusega (vt joonis 6.31),
- punktkuumutusega kindla skeemi järgi,
- lintkuumutusega ühe gaasipõleti abil keevitamise vastaspoolelt (vt joonis 6.30),
- lintkuumutusega mitme põleti abil (vt joonis 6.26).



**Joonis 6.30. Põkkõmbluse õgvendamine ühe põletiga lintkuumutusega**



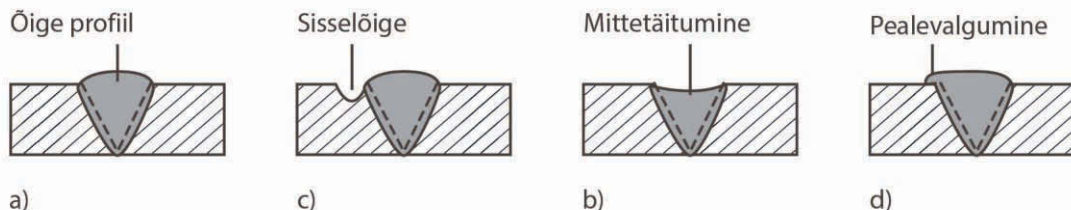
Joonis 6.31. I-tala, raami ja flansi kiilkuumutusega õgvendamine



Joonis 6.32. Jäikusribidega lehtmetailist toote õgvendamine mitme põletiga ja põletite komplekt

## 6.4 Keevisliidete kontroll, keevitusdefektid ja nende vältimine

Keevitamisega kaasnevad alati keevitusdefektid. Need on sellised kõrvalekalded keevisliites, mis vähendavad tema ristlõiget, või on keevisõmblus ebasobiva kujuga (vt joonis 6.33).



**Joonis 6.33. Põkkliite keevitusdefektid**

Üldjuhul halvendavad keevitusdefektid keevisliite mehaanilisi omadusi või hermeetilisust. Käsi-kaarkeevituse tüüpilisteks defektideks on räbuosakesed või gaasidest tekkinud tühikud ehk poorid keevismetallis. Kui faasitud servadega liite servavahemik ei ole täielikult täidetud, siis loetakse seda kõrvalekallet defektiks. Keevitades liigsuure vooluga või vale tehnikaga, tekib õmbluse kõrvale soon, mida nimetatakse sisselõikeks ja mida tuleb vältida. Tavaliselt keevitatakse põkkõmblused läbi kogu detaili paksuses. Kui see ei õnnestu, siis on tegemist läbikeevitamatus defektiga. Paksu faasitud plaadi keevitamisel, aga ka nurkõmbluste keevitamisel poolautomaadiga võib juhtuda, et detailide servad jäävad kokku sulatamata ja tekib väga ohtlik kokkusulamatuse defekt.

Kõik kõrvalekalded (defektid) võib liigitada välisteks ja sisemisteks. Välised defektid avanevad tavaliselt detailide pinnale ja on avastatavad palja silmaga ehk visuaalse kontrolliga. Sisemiste defektide avastamiseks kasutatakse mittepurustava kontrolli meetodeid (MPK, NDT), millest praktikas levinumad on röntgenuurig ja ultraheliuurig. Kuna sulakeevitusel esineb alati erinevaid defekte, siis teatud ulatuses võib neid aktsepteerida. Kui defektid ületavad lubatud suuruse, siis loetakse neid **keevitusvigadeks**. **Vigadele järgneb alati vigade parandus – defektne koht lõigatakse lahti kas ketaslõikuriga, erilise lõikeelektroodiga või mõnel teisel viisil, ja keevitatakse uuesti**. Seda nimetatakse remontkeevituseks.

## Lubatud keevitusdefektid

Kui suuri või kui palju defekte keevisliites lubatakse, määratakse konstruktori poolt ja näidatakse konstruktsioonijoonisel või tehnilises spetsifikatsioonis. Defektide võimalike lubatud mõõtmete aluseks on toote purunemisega seotud riskid. Konstruktor annab joonisel või tootekirjelduses (spetsifikatsioonis) ette lubatud keevisliite kvaliteeditaseme defektide põhjal. Kõige kõrgemad nõuded on tasemel või klassil **B**, mida kasutatakse keevitajate kvalifitseerimise sertifikaadi saamiseks ja vastutusrikaste toodete nagu survemahutid ja katlad valmistamisel. Ehituskonstruktsioonide valmistamisel kasutatakse keskmist kvaliteeditaset **C**. Madalamad nõuded on tasemel **D**, nt vähekoormatud konstruktsioonide valmistamisel. Kui ei ole tellijaga kokku lepitud teisiti, siis halvemat keevisõmbuste kvaliteeti kui tase **D** ei aktsepteerita. Kuna iga järgnev keevitamine kuumutab metalli ja muudab tema struktuuri ja keemilist koostist, siis sageli piiratakse ettevõtetes paranduste arv ühes keevisliites kahe korraga. See tähendab et kui antud koha parandamine uue keevitamisega ei õnnestu, tuleks see koht konstruktsioonist välja lõigata ja keevitada uus vahetükk.

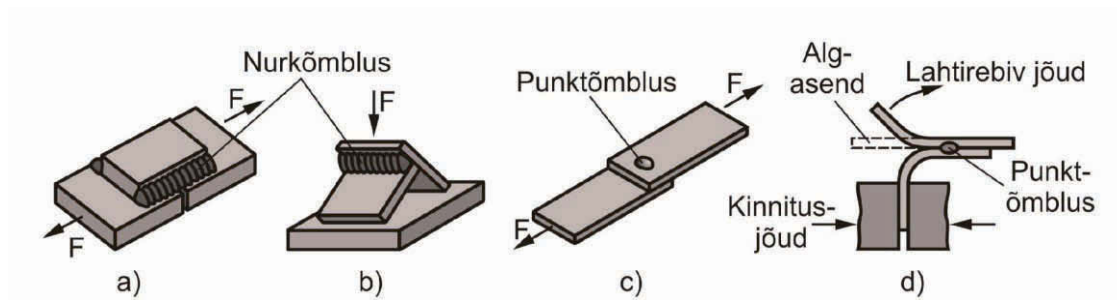
Kõiki keevisliiteid kontrollitakse keevitaja poolt visuaalset. See kuulub tööprotsessi juurde. Oma silmaga hindab keevisliidete kvaliteeti ettevõtte keevitustööde koordinaator ja vajadusel kontrolliv labor.

## Kontrollimeetodid

Keevisliidete defekte saab hinnata, kasutades **purustuskatset** või **mittepurustavat katsetamist**.

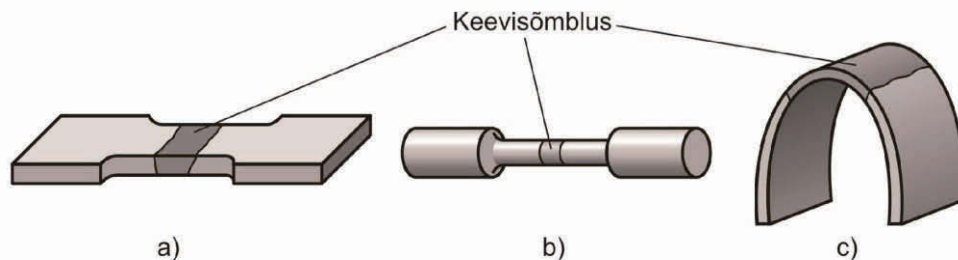
### Purustuskatsed

Rakendatava kontrolli või katsetuse meetod sõltub liite tüübist ja liitmisprotsessist. Näiteks kasutatakse punktõmbluste purustuskatsetel nii tõmbekatset kui ka lahtirebimiskatset (vt joonis 6.34) ja tulemust hinnatakse liite mehaanilise tugevuse ning keevispunkti läbimõõdu, pragude ja tühikute esinemise järgi keevispunktis.



**Joonis 6.34. Keevisliidete purustuskatsed: a) nurkõmbluse nihke-tõmbekatse; b) nurkõmbluse murdekatse; c) punktõmbluse nihke-tõmbekatse; d) punktõmbluse lahtirebimiskatse**

Nurkliiteid, aga ka MAG-keevitusega valmistatud põkkliiteid katsetatakse sageli murdel ja uuritakse liitepinda. On võimalik määrata servade kokkusulamatust ning pooride jms esinemist murdepinnas. Purustuskatsetel lõigatakse keevisliidest välja tõmbeteimi ja löökpainde teimi katsekehad (vt joonis 6.35).



**Joonis 6.35. Põkkliidete purustavad katsed: a ja b) tõmbeteimikud; c) paindekatskeha**

Keevitatud põkkliidetes võidakse liite plastilisust ja pragude esinemist testida paindeteimiga, millega painutatakse proovikeha rulliga paindesse kuni 180 kraadi. Keevisliite struktuuri ja keevitusdefekte uuritakse keevisliidete makrolihvil, kusjuures kõvaduse mõõtmised makrolihvi erinevates piirkondades võimaldavad hinnata karastusstruktuuride teket.

#### Mittepurustav katsetamine

Mittepurustaval kontrollil ehk mittepurustaval katsel ei purustata keevisõmblust ja enamasti hinnatakse defektide olemasolu kaudselt, nende poolt tekitatud nn indikatsioonide abil. Loetleme neist mõned olulisemad.



Visuaalkatse ehk visuaalkontroll, tähistatud praktikas lühendiga VT. Kõiki keevis- ja jooteliiteid tuleb kontrollida väliste defektide esinemise osas vaatluse abil. Tavaliselt uuritakse liidet palja silma või luubiga, kasutades lihtsamaid mõõtevahendeid.

Kapillaarkatsel, tähistatud lühendiga PT, kantakse keevisliite pinnale erilist värvilist kapillaarvedelikku ehk penetranti, mis tungib pragudesse ja pooridesse ning on defektide kohtades nähtav punast värvi laikudena, joonte või täppidena.

Hermeetilisuskatsel (*leak testing*) kasutatakse nii surveproovi õhuga või veega kui ka kapillaarkatset ja nn "petrooleumi-kriidi meetodit". Viimase puhul määratakse kontrollitava liite üks pool kriidivee suspensiooniga, teine pool petrooleumiga. Kui õmblus pole hermeetiline, imbub petrooleum või kapillaarvedelik kapillaarjõudude toimel läbi liite defektide ja liite vastaspoolele tekivad õlised või kapillaarvedeliku laigud.

Magnetpulberkatse, tähistatud lühendiga MT, põhineb peenikesest rauaoksiidipulbrist koosneva suspensiooni pealekandmisel liitepindadele. Välises magnetväljas moonduvad nende osakeste orientatsioon pragude, sisselõigete ja pinnadefektide kohal ja on silmaga hästi näha.

Induktsioonkatsel tekitatakse liites väline magnetväli ja induktiivanduritega määratakse magnetvälja tugevuse muutuse kaudu defektid. Kasutatakse seeriatootmises. Kontrollitavad materjalid peavad olema ferromagneetilised.

Ultrahelikatsel, tähistatud lühendiga UT, juhatakse materjali fokuseeritud ultrahelivõnkumised sagedusega üle 20 kHz, mis peegelduvad defektidelt. Saab määrata sisemiste defektide suurust ja asukohta.

Radiograafiakatse, tähistatud lühendiga RT, on kiirguskontrollimeetodite rühma üldnimetus, mis põhineb uuritava objekti elektromagnet- või ultralühilainekiirtega läbivalgustamisel ja kontrollitavas objektis kiirguse neeldumise erinevusel metallis ja defektis. Keevisliidete katsetamine toimub röntgen- või gammakiirgusega (radioaktiivsete isotoopide  $\text{Ir}^{192}$ ,  $\text{Co}^{60}$ ,  $\text{Ce}^{137}$ ) abil. Enimlevinud kuni 50 mm paksuse terasplaadi keevisliidete korral on röntgenkatse. Saab määrata nii keevitusdefektide tüüpi, mõõtmeid kui ka asukohta. Paksema terasplaadi korral (50-225 mm) kasutatakse gammaradiograafiakatset, kuid meetodi kasutamine on piiratud isotoopide kasutusajaga ja rangete ohutusnõuetega.

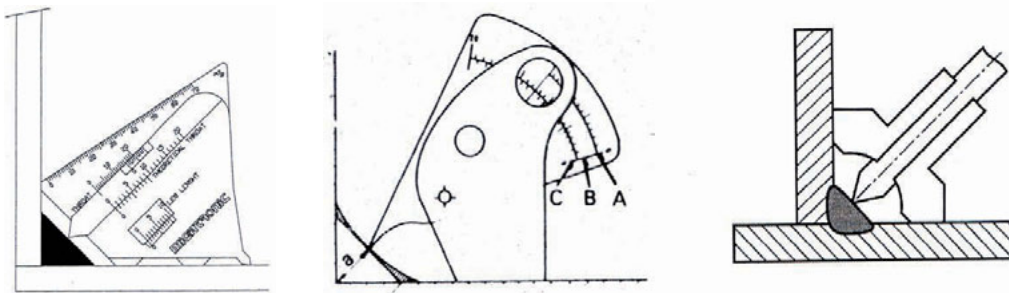
Harilikult on mittepurustav katsetamine kulukas ning nõuded konkreetse meetodi rakendamise ja katsetamise mahu osas tuuakse kas standardites või vastavates seadusandlikes aktides.

### Visuaalne kontroll

Palja silma või luubiga või torude korral endoskoobiga kontrollitakse põkkõmblust mõlemalt poolt ja nurkõmblust mõõtevahenditega (a-mõõturitega). Vaatlus tehakse lähemal kui 600 mm detailide pinnast (nii-öelda küünarnuki kauguselt) ja kohta valgustatakse hästi valgustustugevusega 500 Lx, nt halogeenlambiga. Keevitajal on käepärast nihik, joonlaud ja a-mõõtur.

Põkkõmblusel kontrollitakse sisselõiget (soont õmbluse kõrval), lõpukraatrit (keemisõmbluse lõpetuskohas tekkinud süvendit), läbikeevitust (keevitamise vastaspoolel tekib väike vallik), servavahemiku täitmist, pinnapooride esinemist. Liiga kõrge ja kitsas vastasvallik ei ole aktsepteeritav.

Nurkõmbluste korral kontrollitakse vastava mõõturiga (vt joonis 6.36) õmbluse a-mõõtme vastavust joonisel toodule ja sisselõiget õmbluse kõrval. Seejuures tuleb tagada sujuv üleminek õmbluselt detailile; kumerad õmblused ei ole soovitatavad.



**Joonis 6.36. Nurkõmbluste mõõtureid**

Keevitusvead tuleb parandada, sisselõiked ja lõpukraatrid nt TIG-keevitusega või teiste keevitusprotsessidega. Kui kontrollides avastatakse keevitusdefekt, analüüsib keevitaja võimalikke tekkepõhjuseid, korrigeerib keevitusparameetreid või sooritustehnikat ning keevitab väiksemate proovitükkide peal uued õmblused kuni positiivse tulemuse saavutamiseni. Poolautomaatkeevituse korral võib juhinduda tabelis 6.2 toodud soovitustest.

Tähelepanu: keevitaja vastutab oma töö kvaliteedi eest. Sertifikaadiga keevitajatel on oma surve-tähis-number, mis lüüakse õmbluse lähedale metallile või märgitakse muul viisil. Nii on keevistoote enneaegse purunemise korral võimalik tuvastada keevitaja isik ja võtta ta vastutusele.

**Tabel 6.2. Keevitusdefektid ja nende vältimine MAG-keevitusel**

<b>Keevitusdefekt/ kood</b>	<b>Võimalik tekkepõhjus</b>	<b>Meetmed vältimiseks</b>
<b>Pritsmed/602</b>	Liiga pikk keevituskaar	Keevita lühema kaarega
	Mustus detaili servadel	Puhasta servavahemiku pinnad
	Traadi etteandekiiruse, kaarepinge ja väljundahela induktiivpooli vale seadistamine	Seadistada uuesti
	Mustus keevitustraadil	Kasuta kõrgekvaliteedilist keevitustraati
	Kaitsegaasiks on CO <sub>2</sub>	Kasuta segugaasi
<b>Poorid/2011,'2017</b>	Liiga suur keevituskiirus	Vähenda keevituskiirust
	Vale keevitus voolutugevus	Suurenda või vähenda keevitusvoolu
	Liiga pikk keevituskaar	Kasuta lühemat keevituskaart
	Ebapiisav keevismetalli gaasikaitse	Suurenda gaasikulu, kaitse keevituskohta tõmbetuule eest, vähenda voolukontakti kaugust detailidest
	Mustus detaili servadel	Puhasta servad, vähenda keevituskiirust
	Keevitustraadi ebäühtlane etteandmine	Kontrolli voolukontakti korrasolekut. Vaheta kulunud etteanderullid. Puhasta voolukontakt ja traadikanalid

	Liiga suurest kaitsegaasikulust ja püstoli suudmikule kinnitatud keevituspritsmetest tingitud kaitsegaasipöörised	Kanna hoolt, et gaasivool oleks ühtlane ja ilma turbulentsita
<b>Sisselõige/5011</b>	Suur keevitusvool	Vähenda keevitusvoolu
	Kõrge kaarepinge	Alanda pinget
	Pikk keevituskaar	Keevita lühema kaarega
	Vale elektroodi liigutustehnika	Seisusaeg elektroodiotsa võngutamisel ja suunamuutmisel olgu piisav
	Liigsuur nurkõmbuse kõrgus ehk a-mõõde	Kasuta mitmekihilist keevitust ühekihilise keevituse asemel
<b>Servade kokkusulamatus ehk liiteviga/401</b>	Kaare väär suunamine, kalle ühe serva poole	Hoolitse, et keevituskaar sulataks detailide servaküljed. I-õmbuse korral on keevitaja käsi õmbuse suunas
	Liiga väike keevitusvool paksu materjali korral	Kasuta piisavalt suurt keevitusvoolu või vähenda keevituskiirust püstolit aeglasemalt liigutades
	Sula keevismetalli valgumine rõhtse õmbuse servadele	Suurenda keevituskiirust
	Pökkõmbuste keevitamine ülalt alla	Keevita alt üles asendis faasitud toorikuid
	Liiga väike servavahenurk	Suurem faasinurk detailide vahel
	Räbu ei eemaldata mitme kihiga keevitamisel	Eemalda läbimite vahelt terasharjaga räbu tilgad
	Sula keevismetalli valgumine õmbuse ette, liiga kõrge kaarepinge, liiga paksu läbimi keevitamine	Suurenda keevituskiirust või muuda keevitusasendit või vähenda kaarepinget või keevita mitme läbimiga
	Liiga kumerad keevisõmbused, eriti juurelääbimis	Käia õmblust

	Liiga suur detailide paksuse erinevus	Kasuta kaldu üleminekuosa detailidel
	Oksiidikiht detaili pinnal	Puhasta
	Pikk traadi jääkosa ehk voolukontakti kaugus	Lähenda keevituspüstolit või suurenda keevitusvoolu
<b>Läbikeevitamatus /402</b>	Juure läbikeevitamatus X- või V-servadel	Ava juur käiamisega ja keevita
	Detailide nihkumine	Keevita traagelõmblused piisavalt tugevalt
	Õmbluste lukud ehk vahekohad sulatamata	Käia eelneva läbimi lõpud madalamaks, sulata hoolikalt lukukohad

### Kordamisküsimused

1. Miks on vaja detailid enne keevitamist omavahel fikseerida ja kuidas seda tehakse?
2. Kui pikalt ja millise vahekaugusega keevitatakse süsinketeraste traagelõmblused?
3. Milliseid abivahendeid kasutades koostatakse keevisõmblused?
4. Selgitage, miks keevitatakse keevisõmblusi lõikudena.
5. Keevitatakse kokku nelikanttorudest sektsiooni. Kirjeldage selle keevitusjärjestust.
6. Milliseid vahendeid kasutatakse detailide ettekuumutuseks keevitamisel ja kui kaugel keevisõmbusest mõõdetakse selle temperatuuri?
7. Kirjeldage T-tala keevitusdeformatsioone ja õgvendamist.
8. Kuidas saab vähendada põkkõmblusega kokku keevitatud kahe plaadi keevitusdeformatsioone?
9. Keevitamisel ilmned keevitusvead. Mida peab keevitaja tegema nende vältimiseks?
10. Kuidas määratletakse nurkõmbluse mõõtmed?
11. Mis on keevisliite remontkeevitus ja kui mitu korda on soovitatav seda ühe koha peal teha?
12. Kirjeldage keevitaja sertifikaadi kehtivuspiiride määramise põhimõtteid.

13. Miks nõutakse keevitustöödel keevitusprotseduuri spetsifikaadi WPS-i kasutamist?
14. Millist WPS-il toodud infot kasutab keevitaja oma töös?

## 7. Keevitustööde väikemehhaniseerimine ja robotiseerimine

Keeviskonstruktsioonide ja teiste keevistoodete valmistamisel on tähtsal kohal valmistuskulude alandamine ja stabiilse kvaliteedi tagamine keevitusdefektide vältimisega. Keevitustootlikkust iseloomustatakse pealekeevitusteguriga ehk pealesulatusteguriga, mis näitab ühe tunni jooksul pealekeevitatud metalli massi. Tootlikkust on võimalik tõsta jämedama keevituselektroodi ja suurema keevitusvoolu kasutamise, näiteks keevitamise rüüstis. Ka täidistraadi kasutamine võimaldab suurendada pealekeevitustegurit. Teiseks näitajaks on keevituskiirus, mida mõõdetakse tavaliselt minutis keevitatud keevisõmbluse pikkusega. Keevituskiirust on võimalik tõsta täidistraadi ja kaitsegaasina segugaasi kasutamise ning keevitamise allasendis. Kui on võimalik keevisõmblusi pöörata allasendisse vastavate rakiste või manipulaatorite abil, siis kasvab ka keevituskiirus. Praktikas keevitab keevitaja ainult lühikese osa oma tööpäevast – umbes 25–40% vahetuse ajast –, mida kirjeldab kaare põlemisaja tegur.

Ülejäänud aja tegeleb keevitaja detailide koostamise ja traageldamisega, elektroodi vahetamisega, räbu ja pritsmete kõrvaldamisega, seadmete reguleerimisega, deformatsioonide vähendamisega, keevitusvigade kõrvaldamisega. Suurel määral mõjutab tulemust töökoha korraldus ja detailide kvaliteet ning õigeaegne töökohale toimetamine. Järelikult on tootlikkuse tõstmisel oluliseks teguriks kõigi eespoolmainitud abiaegade vähendamine. Keevitaja töö on füüsiliselt väsitav ja raske on terve vahetuse jooksul käsitsi opereerida elektroodihoidiku või keevituspüstoliga. Täielik keevitusprotsessi automatiseerimine, nagu see on võimalik rüüstikeevitusel keevitustraktorite või keevitustornide abil (vt alapunkt 4.5), on majanduslikult õigustatud pikkade keevisõmbluste korral. Rüüstikaarkeevitus sobib paksema terasplaadi keevitamiseks allasendis. Seadmed on kallid ja suuremõtmelised. Teine tee on kasutada MAG-keevitusprotsessi, kinnitades keevituspüstoli mingi liikurseadme külge. Keevituspüstol kinnitub seadme külge, mis võimaldab muuta tema kaldenurka ja kaugust detailidest. Seetõttu nimetatakse seda keevituseadme osa **keevituspeaks**.

Tootmismahdade hüppeliseks kasvatamiseks, keevitaja tööaja efektiivsemaks kasutamiseks ja kvalifitseeritud keevitajate nappuse leevendamiseks on mõttekas kasutada kas väikemehhaniseerimisvahendeid või keevitusroboteid.

**Väikemehhaniseerimisvahendid**, kutsutud sageli ka odavautomatiseerimisvahenditeks, võimaldavad suhteliselt väikeste investeeringutega parandada keevitusseadme kasutamise efektiivsust, tõsta kaare põlemisaja tegurit ja tagada stabiilsemat kvaliteeti, võrreldes käsitsi keevitamisega. Kuna saab vähendada parandamist nõudvate keevitusvigade teket, siis vähenevad nii kulutused nende parandamisele ja mittepurustavale kontrollile kui ka reklamatsioonid ettevõttele.

#### **Keevituse väikemehhaniseerimisvahenditena kasutatakse:**

1. Positsioneer, pöördlaud detailide ja keeviskoostude kiireks pööramiseks, et saaks keevitada õmblusi allasendis.
2. Rullikuid vm seadmeid silindriliste toodete ringõmbluste keevitamisel nendele pöörleva liikumise andmise abil.
3. Lihtsaid ja väikseid keevitustraktoreid.
4. Mööda juhtrelssi või detaili otpinda liikuvaid MAG-keevituspeaga varustatud ja programmeeritavaid liikurseadmeid.

#### **Pöördseadmed**

Koostatud detailide pööramine kas püstise, kald- või horisontaalse teljega pöördlaudade ning positsioneeride abil vähendab detailide käsitemisaega. Keevitamisel allasendis on MAG-keevitus 2...3 korda tootlikum kui näiteks vertikaalasendis. Keevitusaeg võib lüheneda 30...50%.

#### **Rullikud ja orbitaalkeevitus**

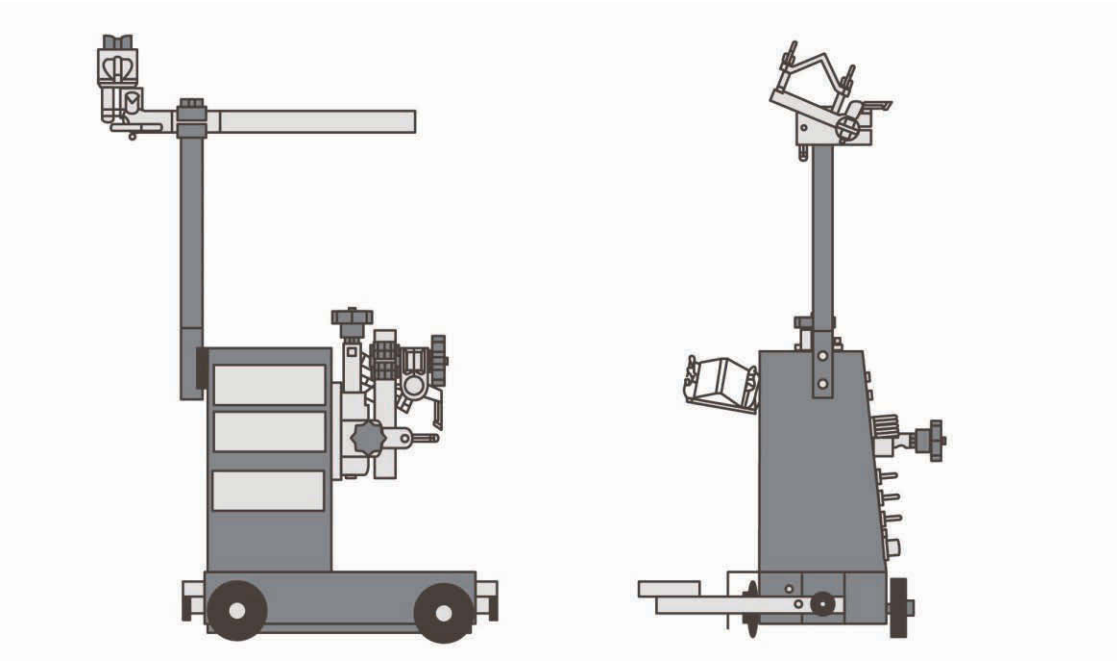
Silindriliste mahutite ringõmbluste keevitamisel on sageli otstarbekohane anda detailidele keevituskiirusega võrdne pöördliikumine. Selleks kasutatakse tööstuslikke rullikuid või ettevõttes valmistatud rullikuid. Saadaval on treipinki meenutavad seadmed ja pöördlaud, kus detailidele antakse ümber horisontaalse telje pöördliikumine. Eraldi valdkonna moodustavad nn **orbitaalkeevituse seadmed**, mis on levinud torude ja toruplaatide TIG-keevitamiseks. TIG-põleti asetseb ümber toru kinnitatavas klambris ja liigub ringikujuliselt ümber toru.



Keevitusparameetrid on programmeeritavad. Orbitaalkeevitust kasutatakse uute toodete – torustike, soojusvahetite ja katelde toruplaatide – valmistamisel, kuid mitte katelde remondil.

### **Keevustraktorid**

Keevustraktor on neljarattaveoga väike vankrike, mille külge kinnitub keevituspea. Seadet on võimalik lihtsalt ja kiiresti viia teise kohta. Juhtpaneelist saab muuta keevituskiirust ja -parameetreid. Erinevalt rübustikaarkeevustraktoritest on nad lihtsama konstruktsiooniga ja neil puuduvad andurid keevituspea trajektoori jälgimiseks ning korrigeerimiseks. Turul on lihtsaid keevustraktoreid nii keevitusseadmete firmade (nt ESAB) kui ka väikemehhaniseerimisele spetsialiseerunud firmade (nt BUG-O Systems, Gullco jt) tootevalikutes. Sageli tagatakse traktori sirgjooneline liikumine detailidele kinnitatava juhtrelsi abil (vt joonis 7.1).



**Joonis 7.1. Väike keevustraktor MAG-keevituseks. Keevituspea on näitamata**

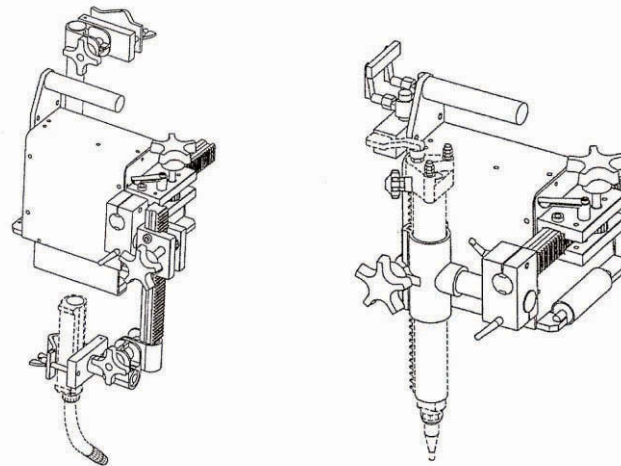
### **Juhtrelsiiga seadmed**

Keevituspea liikumistrajektor antakse ette detailide külge kinnituvale sirgele või kaarekujulisele juhtrelsi abil. Sageli saab juhtrelssi kinnitada detailide külge magnetite abil. Keevituspea saab pikisuunalise liikumise hammaslati abil. Seadmel, mida toidetakse 220-voldisest vooluvõrgust, on võimalus anda keevituspeale erineva kuju ja sagedusega võnkliikumisi. Seadistades

keevituspüstoli kaugust ja kaldenurka, reguleeritakse keevituskiirust laias vahemikus. On levinud vertikaalõmbuste keevitamisel.

### **Detailide otpinnal või relsil liikuvad seadmed**

Kasutatakse horisontaalselt asetsevate nurkõmbluste keevitamiseks ja juhtpinna abil gaaslõikusks. Liikurseade toetub kas detailidele kinnitatud juhtrelsile või T-tala otpinnale kahe tugirulli abil. Püstplaadi või relsi külgpinnale on kinnitatud kaks vedavat rulli, mille survet saab reguleerida teisel pool püstplaati asetseva rulli surve abil. Hõõrdejõudude toimel liigub keevituspea piki õmblust. Seade on ehituselt lihtne. Joonisel 7.2 on näidatud liikurseade nii gaaslõikusks kui ka nurkõmbluste keevitamiseks.



**Joonis 7.2. Detailide otpinnale kinnituv keevituspea ja gaaslõikuspea**

### **Keevitusrobotid**

Keevitustööde efektiivsust ja mahtu on võimalik tõsta keevitusrobotite kasutamisega. Keevitusrobot võimaldab keevitada kvaliteetselt terve tööpäeva jooksul ning valmistada vahetuse jooksul kuni 3 korda rohkem keevistooteid kui käsitsikeevitusega. Kahe vahetusega töö korral võib robot asendada kuni 6 keevitajat. Majanduslikult õigustab keevitusrobotite kasutamine ennast sageli 2- või ka 3-vahetuselise töökorralduse juures. Eeliseks on kiire üleminek uue toote valmistamisele, keevitamise seotud abiaegade vähenemine, keevisõmbluste kõrge ja stabiilne

kvaliteet. Keevitusrobotite kasutamist piirab nende kõrge hind ja sageli ka piisavalt suurte tootepartiide või tootmisprogrammide puudumine. Reeglina on keevitusrobotid kasutusel mass- ja seeriatootmises. Väikeseeriatootmise tingimustes on kasutamiskiiranguks vajalike rakistuste puudumine või robotite kõrge hind. Robotkeevitada saab selleks sobiva konstruktsiooniga tooteid, arvestades näiteks keevituspea ligipääsetavusega keevituskohtadele jt tingimustega.

Joonisel 7.3 on näidatud keevitusroboti üldvaade.



### **Joonis 7.3. Keevitusrobot**

**Keevitusrobotite** evitamine ei tähenda mitte ainult vooluallikaga varustatud erilise tööstusroboti soetamist, vaid terve robotsüsteemi hankimist ja evitamist. See hõlmab juhtsüsteemi (arvuti,

operatsioonisüsteem, programmid, tarkvara), positsioneer ja töölaud. Tootjal tuleb ise konstrueerida rakised detailide kinnitamiseks, samuti välja koolitada roboti operaator.

Keevitusrobot on servomootoriga varustatud tööstusrobot, mille manipulaatori külge kinnitub keevituspea. Traadi etteandemehhanism asetseb eraldi või kinnitub manipulaatorile. Kasutatakse erinevate tootjate täiustatud vooluallikaid. Vooluallikad on varustatud elektroonilise juhtkaardiga, mille abil suheldakse juhtimiskeskusega ja antakse tagasisidet keevitusprotsessi kohta. Kasutatakse kas vedelik- või gaasjahutusega keevituspüstoleid. Gaasjahutusega keevituspüstolid on oma mõõtmetelt väiksemad, mis tagab parema ligipääsu keevituskohtadele. Vedelikjahutusega keevituspüstoleid kasutatakse suuremate kui 300 A keevitusvoolude ja pikemate keevitusõmbuste juures. Keevituspüstol on varustatud hooldusjaamaga, mis lõikab maha voolukontaktist välja ulatuva sfäärilise metallitilgaga traadi otsa. Gaasisuudmiku sisepind puhastatakse keevituspritsmetest erilise freesi abil. Gaasisuudmiku sisepinda töödeldakse pritsmevastase vedelikuga, mis vähendab pritsmete külgekleepumist. Üleliigne õli eemaldatakse püstolist suruõhu abil. Lisavarustusena võib olla puhastusjaama külge kinnitatud tööriista automaatne kalibreerimisseade. Selle abil on võimalik avastada ja kõrvaldada keevituspüstoli positsioneerimise hälbeid. Keevituspüstol võib olla varustatud lisaks roboti põhivarustusele veel täiendava keevituspüstoli kokkupõrkekaitsega. Kui keevituspüstol takerdub mingi takistuse taha, siis saab juhtsüsteem selle kohta signaali. Nii välditakse keevituspüstoli vigastamist.

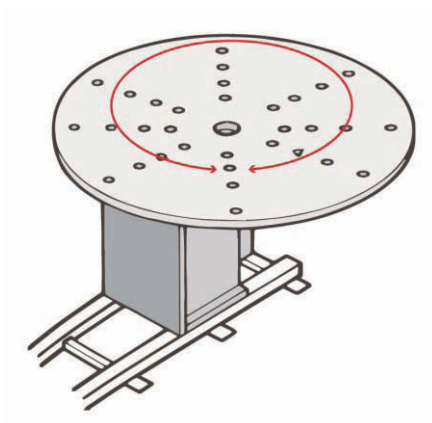
Kasutatakse suuri keevitustraadikonteinereid (nt 250 kg massiga Marathon Pac), et vältida ajakadusid traadi vahetamiseks. Keevitusrobot võib olla kohtpaikne või suuremate toodete keevitamisel liikuda mööda liikumisrada. Suuremõõtmeliste detailide keevitamisel kasutatakse niinimetatud pukk-kraana-tüüpi (*gantry*) keevitusroboteid. Kõrgel ruumis asetsevale rajale kinnitub roboti manipulaator ja see rada ise kinnitub jalgade abil põrandale. Keevituspea liigub toote kohal ja nii hoitakse kokku tootmispinda. Keevitavad detailid kinnitatakse rakiste abil kas roboti töölauale või positsioneerile. Juhtsüsteemiga on võimalik positsioneeril abil rakistes detaile keevitamise ajal pöörata, nt allasendisse. Töölaud võib koosneda kahest vaheseinaga varustatud osast. Ühel poolel kinnitatakse detailid rakistesse ja siis pööratakse lauda 180 kraadi ning toimub keevitamine, mille järel pööratakse töölauda uuesti ja eemaldatakse operaatori poolt keevitatud toode. Robotioperaator asub väljaspool keevitustsooni. Detailide pööramiseks võidakse kasutada

vertikaalse teljega positsioneer, pikemate keevistoodete kinnitamiseks ja pööramiseks horisontaalseid, nn grilli-tüüpi positsioneer.

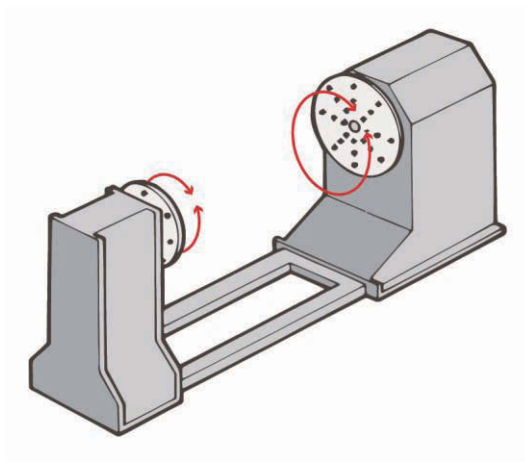
Keevitusroboti programmeerimiseks kasutatakse käsitsi puldist programmeerimist ehk õpetamist, nn *online*-programmeerimist. Üleminekut uue toote valmistamisele kiirendab eelnevalt koostatud programmide kasutamine, mida nimetatakse *offline*-programmeerimiseks. Vastavate programmidega on võimalik sisestada 3D CAD-iga valmistatud joonised otse konstruktorilt.



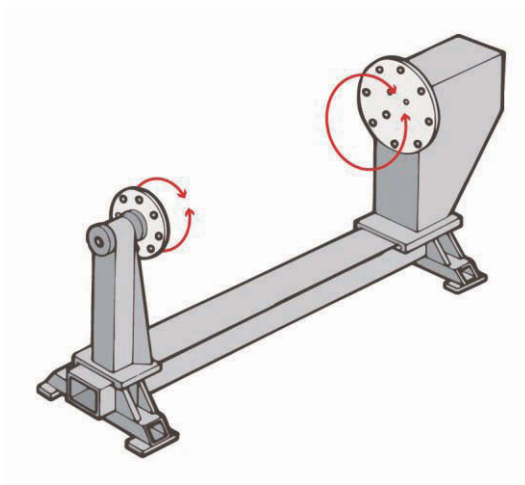
**Joonis 7.4. Gantry-tüüpi keevitusrobot**



**Joonis 7.5. Roboti pöördlaud**



**Joonis 7.6. Horisontaalse teljega (nn grilli-tüüpi) positsioneer detailid pööramiseks allasendis**



**Joonis 7.7. Horisontaalse teljega positsioneer detailidele pöördliikumise andmiseks**

Keevitusrobotite evitamise kitsaskohaks on igale tootele või tooterühmale sobivate rakiste valmistamine. Robotkeevitamisel võidakse detailid koostada eraldi rakistes ja siis suunata edasi keevitusrobotisse. Kiirem võimalus oleks detailide kinnitamine rakisesse otse roboti töölaual ja seal ka keevitamine. Rakiste kasutamisel tuleb arvestada asjaoluga, et keevitamisel nii detailid kui ka rakis kuumenevad ja paisuvad, mis mõjutab toodete mõõtmeid ja keevitusdeformatsioone.

### **Detailid robotkeevituseks**

Detailid ja toorikud peavad olema täpsemad kui käsitsikeevitusel. Soovitav on detailid valmistada laserlõikusega.

## **Keevitusparameetrid**

Tavaliselt kasutatakse robotkeevitusel suuremat keevitusvoolu, kõrgemat kaarepinget ning suuremat keevituskiirust kui käsitsi MAG-keevitusel. Kõrgema kaarepinge kasutamisel tuleb arvestada nurkõmbluste keevitamisel õmbluse juure läbikeevitamatus ja ebavõrdsete kaatetite tekke võimalusega.

## **Keevituse kaitsegaasid**

Robotkeevitusel soovitatakse suurema tootlikkuse tagamiseks kasutada tavapäraste segugaaside asemel segugaasi koostisega 8% CO<sub>2</sub> + 98% Ar.

## **Keevitusoperaator**

Keevitusoperatori ülesanneteks on:

- rakise koostamine
- programmi koostamine juhtpuldi abil
- detailide kinnitamine rakisesse ja keevitamine
- valmistoodete eemaldamine rakisest

Keevitusroboti operaator peaks omama teadmisi ja kogemusi käsitsi MAG-keevitusest ja tundma programmeerimist jm robotiga seotud küsimusi. Robotite tarnijad pakuvad operaatoritele erineva kestusega koolitusi. Nt Motomani roboti tarnijad pakuvad Soomes 3-päevast operaatori baaskursust ja hiljem jätkukursust konkreetsete toodete keevitamiseks.

## **Kordamisküsimused**

1. Kirjeldage, miks on keevitamine allasendis eelistatum ja kuidas seda on võimalik praktikas realiseerida.
2. Kuidas on võimalik väikemehhaniseerida kahe plaadi põkkõmblust?
3. Milliseid lahendusi kasutaksite T-liidete keevitamise väikemehhaniseerimiseks?
4. Kirjeldage vertikaalse keevisõmbluse võimalikku mehhaniseeritud keevitamist.
5. Mis on keevituse robotsüsteem?
6. Mille jaoks kasutatakse robotkeevitusel keevitusrakiseid?



## 8. Keevitusprotsessi korraldamine ja tootlikkus

### 8.1 Ohutusnõuded keevitustöödel

Keevitamine on seotud ohtudega töötaja tervisele, mida saab vältida töökoha õige korraldamisega, ohutus- ja hügieeninõuetest kinnipidamisega ning organisatsiooniliste meetmetega. Nii tagatakse tervisele võimalikult väike kahjulik mõju ning välditakse kutsahaigusi ja traumasid töökohtadel.

#### Ohutegurid keevitajale keevitustöödel on:

- elektrilöögioht,
- tuleoht, kuumade detailidega kokkupuutumine ja kuumad metallipritsmed,
- kahjulike aurude ja aerosoolide eraldumine,
- kiirgus,
- müra ja vibratsioon,
- gaaskeevitusel ja -lõikamisel kasutatavate gaaside plahvatusoht,
- töökohal kukuvad või lendavad esemed,
- kukumine tellingutelt või redelilt,
- detailide käsitlemisega kaasnev ülekoormus või sellega seotud vigastused,
- kaitsegaaside kontrollimatu kasutamine piiratud ruumides.

Ohutegureid saab vähendada isiklike kaitsevahendite (keevitusmaskid, kindad), kaitseriietuse ja jalanõude (kombinesoonid, püksid, jakid, saapad) kasutamisega. Osa tegureid välditakse töökoha korraldamisega (eraldatus vaheseintega, kardinaid, ventilatsioon) ja keevitajate väljaõppega.

#### Elektrilöögioht

Keevitaja võib vahetult kokku puutuda kaarkeevituse vooluahelaga (näiteks elektroodi vahetades) või ka toitevõrguga. Elektrivoolu ohtlikkus inimesele oleneb keha läbiva voolu tugevusest, voolu

kulgemistest, voolu all olemise ajast ja voolusagedusest. Inimesele ohtlikuks keha läbivaks voolutugevuseks loetakse 50 mA. Ohutust saab parandada elektritakistuse suurendamisega, näiteks kasutades järgmisi meetmeid:

- terved ja kuivad kummitallaga jalanõud,
- isoleeriv kaitsematt keevitaja all,
- terved ja kuivad kindad,
- kuiv töökoht.

Keevituskaableid tuleb hoida vigastuste eest. Samuti tuleb keevitamisel kanda hoolt maanduse ehk tagasivoolukaabli kindla kinnituse eest, kasutades vastavaid tööstuslikke klambreid. Ehitise või seadme osade kasutamine tagasivoolujuhtidena on rangelt keelatud.

Kaablid ei tohi jääda keevitatavate detailide alla, neid ei tohi vedada uste või luukide vahelt läbi, samuti risti üle liikumisteede. Ei tohi kasutada vigastatud kaableid.

Arvestada tuleb magnevälja kahjuliku mõjuga TIG-keevitusel, kus kasutatakse kontaktivaba kõrgsagedussüüdet. Kaare süütamisel võivad tekkida tugevad elektromagnethäired, mis võivad mõjutada südamestimulaatorite, raadio ja teleaparatuuri tööd.

### **Tuleoht ja kuumade detailide käsitsemine**

Keevitamisega kaasneb nii detailide kui ka elektroodi kuumenemine, eralduvad kuumad keevituspritsmed ja sädemed ning seetõttu tuleb täita tuleohutusnõudeid. Keevitaja kannab tulekindlast materjalist eririietust ja kasutab erilisi keevituskindaid. Nahast kindad isoleerivad keevitajat ka elektriliselt keevituse vooluringist. Erilised keevitaja jalanõud kaitsevad keevitajat keevituspritsmete eest, eririietus aga kaarkeevitusel eralduva ultraviolettkiirguse eest. Keevitaja eririietus võib koosneda eraldi pükstest ja jakist või kombinesoonist. Teatud juhtudel võidakse kaitseks kasutada veel erilist keevitaja põlle.

Keevitamine kuulub tuletööde hulka ja nende juures on tarvis täita tuletööde eeskirju. Keevitamisel eristatakse alalisi ja ajutisi töökohti. Esimesel juhul on tegemist spetsiaalselt projekteeritud ja ohutusseadmetega varustatud töökohaga, teisel juhul tegeletakse kas avariide kõrvalda-

misega, tööga ehitusobjektidel jm. Viimasel juhul tuleb töökoht varustada tulekustutitega, puhastada töökoha ümbrus kuni 5 m raadiuses põlevjäätmest ja kaitsta keevituskohast lähemal kui 2 m asetsevat tarindit mittepõleva kattega või valada see veega üle. Keevitaja peab läbima vastava koolituse ja omama tuletööde luba.

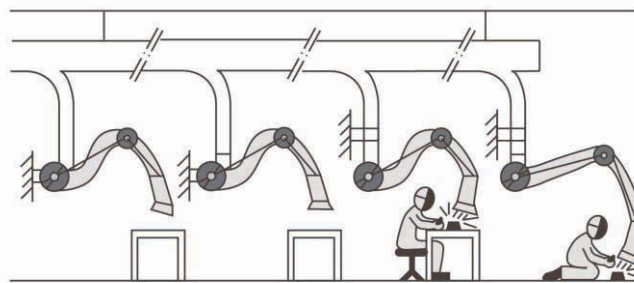
### **Keevitussuits**

Keevitamisel eraldub nn keevitussuitsu, mis sisaldab kahjulikke ühendeid aerosoolide osakeste (alla 10 µm) näol, metalliaurusid ja gaase. Kahjulikud ühendid eralduvad elektrodikattest, keevitatavast materjalist (eriti roostevaba terase ja alumiiniumi keevitamisel), argooni sisaldavatest kaitsegaasidest (osoon). Seetõttu tuleb keevituskohad varustada kohtventilatsiooniga.

### **Kaarekiirguskaitse**

Keevituskaarega kaasneb intensiivne ultraviolett- ja infrapunakiirgus, mistõttu on tarvis kaitsta silmi ja keha kiirguse eest. Keevitaja peab kandma kaitseriietust ja kasutama kaitsemaske. Eriti intensiivne on ultraviolettkiirgus MAG-keevitusel. Silmade kaitseks kasutatakse keevitusmaskidel tumedaid kaitseklaase, mis on tumedusastme järgi jagatud 15 klassi ja mida tähistatakse numbritega. Kaitseklaasi number valitakse olenevalt keevitusprotsessist ja voolutugevusest (vt tabel 8.1).

Sageli kasutatakse automaatselt isetumenevaid keevitusmaske. Tänapäevased keevitaja peamaskid sisaldavad 3 klaasi: välimine kaitseb kaitseklaasi pritsmete eest, sisemist kasutatakse pärast tumeda klaasi eemaldamist keevisliidete käidega puhastamisel. Kaasaegsed keevitusmaskid sisaldavad ka kaitsekiivrit ning kaelakaitset ja võimaldavad eraldada keevitaja keskkonnast.



**Joonis 8.1. Kohtventilatsioon töökohtadel**

Kitsastes tingimustes ja alumiiniumi ning roostevaba terase keevitamisel tuleb kasutada õhufilt-riga varustatud keevitusmaske. Näiteks nn euromaski-tüüpi peamaskide alla puhutakse läbi filtri õhku ja nii tekitatakse väike ülerõhk. Filter peab kinni kuni 99,8% kahjulikest lisanditest. Maskis kasutatav ventilaator käivitatakse keevitaja vöö külge kinnituvatest akudest, mis nõuavad perioo-diliselt laadimist.

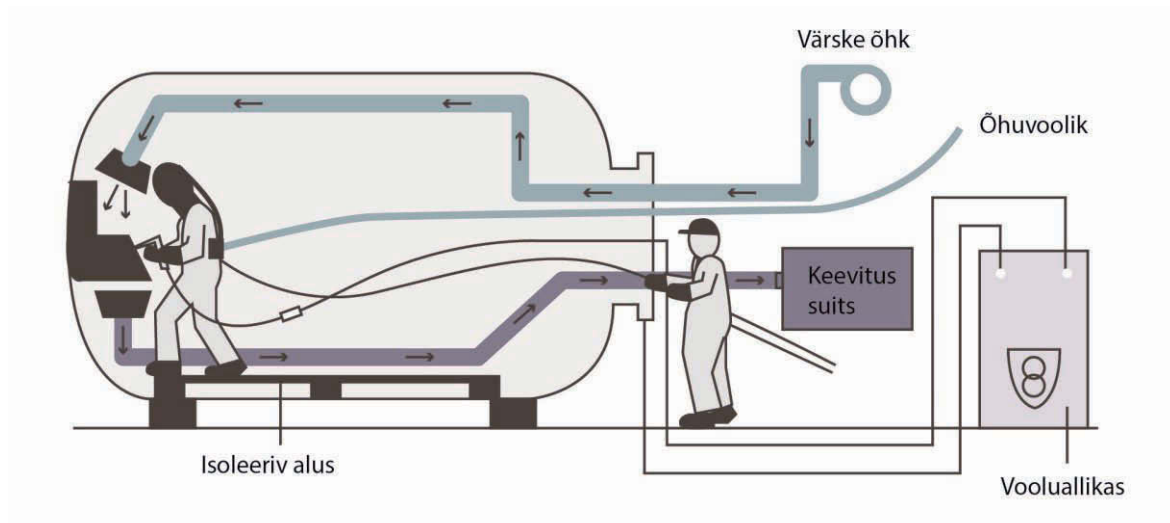
**Tabel 8.1. Keevitumaski tumedusklaaside numeratsioon**

Voolutugevus amprites ja tumendusaste								
Keevitusprotsess	20-40	40-80	80-100	100-150	150-200	200-300	300-400	400-500
Käsikaarkeevitus	9	10		11		12		13
MAG, teras			10	11		12		13
MIG, alumiinium			10	11	12	13		14
TIG	10	11		12	13	14		
MAG (CO <sub>2</sub> )		10	11	12	13		14	15

### Piiratud ja kitsastes tingimustes keevitamine

Kitsastes oludes ja tarinditega piiratud keevitamisel tuleb jälgida, et keevitamisel kasutatav mitte-mürgine kaitsegaas (CO<sub>2</sub>, Ar) ei täidaks ruumi ega tõrjuks sealt välja õhku. Vastasel korral võib keevitaja lämbuda. Soovitav on sellisesse kinnisesse ruumi, nt mahutisse (joonis 8.2), juhtida kompressoriga suruõhku.

Keevitamisel mahutites julgustab keevitajat teine tööline, kes saab vöö külge kinnitatud rihmaga keevitaja töökohalt eemaldada kas elektrilöögi või gaasimürgistuse korral (joonis 8.2).



**Joonis 8.2. Keevitamine mahutis. Tööline julgustab keevitajat**

### Mürakaitse

Müra tekib räbu eemaldamisel, vasaratega õgvendamisel ja pneumokäiadega käiamisel. Tuleb kasutada kõrvaklappe. Sõltuvalt müratasemest antakse ajalised piirid, mille jooksul müra loetakse kahjutuks. Näiteks 8-tunnise tööpäeva jooksul lubatakse mürataset 85 dB 8 tunni jooksul, taset 88 dB 4 tunni jooksul, taset 94 dB 1 tunni jooksul. Mürakaitseks kasutatakse kõrvatroppe või kõrvaklappe.

### Ohutusnõuded töökohtadel

Konstruksioonide montaažil tuleb kukkumise vältimiseks kasutada kinnitusrihmasid jm ohutusabinõusid. Kuna keevitusräbu on kuum, siis tuleb lasta jahtuda keevisõmbluse peal ja eemaldada sealt kas harjadega või eriliste räbuhaamritega. Selle tegevuse ajal tuleb kaitsata silmi maskiga.

Erilisi ohutusnõudeid tuleb täita gaaskeevitusel seostatuna gaaside plahvatusohuga, leegi tagasilöögiga põletisse või voolikutesse. Kasutatakse erisolamitest võtmeid. Tuleb vältida õli ja õliste pindade kokkupuude hapnikuga. Gaasiballoonid ei tohi üle kuumeneda ega saada lööke transportil. Hoidmisel tuleb vältida nende kuumenemist päikese käes.

## 8.2 Keevitaja töökoht

Olenevalt keevitustööde iseloomust võivad keevitajate tökohad olla alalised või ajutised.

Ajutisel töökohal, nt ehitusobjektidel, liigub keevitaja koos oma seadmega ühelt kohalt teisele. Alalised töökohad on ettevõtetes ja koolituskeskustes, kus keevitamine toimub ühes ja samas paigas.

Alaline töökoht kujutab endast tavaliselt kolmest küljest seintega piiratud ruumi, mille sissepääsu katab nihutatav keevituskardin. Neid töökohti nimetatakse sageli ka keevituskabiinideks. Keevituskoha mõõtmed olenevad keevitatavate toodete suurusest ja kasutatavatest seadmetest. Seinad on valmistatud tulekindlast materjalist ja parema ventilatsiooni tagamiseks algavad 200...250 mm kõrgusel põrandast ning on sellise kõrgusega, et kaare kiirgus ei segaks kõrvalasetsevat töökohta. Suurte keevistoodete montaažil ei kasutata keevituskabiine, kuid tagatakse piisav äratõmbeventilatsioon töökohal.

Keevituskohal on lisaks seadmele-vooluallikale veel töölaud, riulid ja kapid tööriistade, väiksemate rakiste ja detailide tarvis. Töölaud võivad olla tööstuslikult või kohapeal valmistatud. Pike-mate detailide koostamiseks ja kinnitamiseks töölaua külge võidakse kasutada kas valatud või keevitatud koostelaudu, milles on sooned või avad kinnitusklambrate tarvis. Tavaliselt on töölaud kaetud paksu, 15...30 mm terasplaadiga. Töölaua sahtlid elektroodide ja väiksemate tööriistade tarvis. Õppekeskustes jm võidakse kasutada autonoomset ja teisaldatavat filtersüsteemiga varustatud kohtventilatsiooniseadet ning tumendatud klaasidega varustatud töölaudu.

Käsikaarkeevitusel peavad töökohal olema aluselise kattega elektroodide niiskumise vältimiseks ja hoidmiseks elektriliselt soojendatavad (80...100 °C) elektrooditorbikud.

### **Keevituselektroodide ladustamine ja ettevalmistus kasutamiseks**

Elektroode tuleb hoida laoruumis temperatuuril  $T \geq 15$  °C ja ruumi niiskusel alla 60% tootjate poolt piiritletud aja jooksul. Enamasti on see 3-5 aastat, kuid standardi EN1090-2 järgi teras-konstruktsioonide valmistamisel avatud pakendite korral mitte üle 2 aasta. Laos peab olema kuivatuskapp elektroodide kuivatamiseks. Soovitused kuivatustemperatuuri ja -aja osas on antud tootjatel tavaliselt elektroodipakendil sõltuvalt elektroodi katte tüübist.

Rutiilkattega elektroode harilikult ei kuivatata. Ent kui neid on üle ühe nädala hoitud avatud pakendis või on need saanud niiskust, siis tuleb neid kuivatada 80–120 °C juures 2 tundi.

Seejuures tuleb vältida ülekuumutamist. Aluseliste elektrootide korral on vaja neid kuivatada tootja soovitude kohaselt, eriti tugevamate teraste keevitamisel. Kui elektrooti pakend on avatud ja kasutamata elektrootid korjatakse tagasi, siis võib neid hoida hoidmiskapis  $150\text{ }^{\circ}\text{C}+25^{\circ}$  kuni 3 kuud. Keevitaja töökohal tuleb elektrootde hoida kuumutatavas torbikus  $70\text{...}120^{\circ}\text{C}$  kuni 4 tundi. Kui elektrootid on vahepeal niiskunud, siis tuleb nad kuivatada  $350^{\circ}\text{C}+25^{\circ}\text{C}$  juures kuni 5 korda. Niiskust mitteimavad, nt LMA-tüüpi elektrootid ei vaja kuivatamist. Roostevaba terase elektrootde pole tavaliselt vaja kuivatada, kui neid hoitakse niiskuskindlas pakendis töökohal kuni 8 tundi.

Ettevõttel peavad olema juhendid keevituselektrootide ja -traatide ladustamiseks ja käitlemiseks. Töös kasutamata elektrootid ja traadid korjatakse kokku ja säilitatakse laos, soovitatavalt originaalpakendis või vastava etiketiga märgistatud pakendis riiulitel. Keevitaja töökoht peab olema varustatud tõstemehhanismiga (telferiga) detailide tõstmiseks ja paigaldamiseks.

### **8.3 Tulemuslikkuse hindamine keevitustöödel**

Globaliseerivas maailmas omandavad toodangu ja tootmise konkurentsivõime tagamisel erilise tähenduse majanduslikud tegurid, mis on seotud ennekõike keevistoodete hinnaga ja tootjate võimekusega hoida tootmiskulusid kontrolli all. Keevitustootmisel on vaja teada otseselt keevitamisega seotud kulusid ehk keevituskulusid, et:

- tõsta toodangu konkurentsivõimet ja müüa seda optimaalse hinnaga,
- uute keevitusprotsesside, mehhaniseerimisvahendite, robotite, uute lisametallide evitamisel hinnata nende majanduslikku efektiivsust,
- hinnata keevitusvigade parandamisega seotud kulutusi.

Keevistoodete hinna alandamiseks tuleb vähendada keevitusaega ja keevitamist automatiseerida. Kasutades selliseid materjale, mida on parem keevitada, saab alandada ettekuumutustemperatuuri või isegi seda vältida. Automatiseerides keevitust kas väikemehhaniseerimisvahenditega või keevitusrobotitega, tõuseb keevisõmbluste kvaliteet. Seejuures väheneb tunduvalt vajadus kontrollida keevisliiteid mittepurustavate meetoditega, nt röntgen-ja ultrahelikonrolliga, ja nii vähenevad ka sellega seotud kulud. Kaob vajadus defektsete keevisõmbluste parandamiseks ja kontrolliks pärast keevitamist.

Vaatleme ainult keevitusoperatsiooniga seotud kulusid. Keevituskulud moodustavad:

- **lisametalli kulud** - kulutused elektroodidele, keevitustraatile,
- **tööjõukulud,**
- **kaitsegaasikulud,**
- **seadmetega seotud kulud** ehk seadmete amortisatsiooni- ja hooldamiskulud,
- **elektrienergiakulu.**

Kuluelemendid summeeritakse kas keevisõmbluse 1 m pikkuse kohta või 1 kg keevismetalli kohta. Kuluartiklite analüüs Soome kogemuse põhjal näitab süsinikteraste käsikaar- ja MAG-keevitusel järgmist kuluelementide jaotust summaarsetest kuludest:

- tööjõukulud 70–90%,
- lisametallikulud 10–20%,
- kaitsegaasikulud 4–6%,
- elektrienergiakulu 1–2%,
- seadmetega seotud kulud 4–8%.

Roostevaba terase keevitamisel kulude struktuur muutub ja lisametalli osatähtsus tõuseb 30-50 protsendini summaarsetest kuludest.

Vaatleme üksikute kuluelementide vähendamise võimalusi.

**Lisametallikulu** saab vähendada keevitamisel pealesulatatud metalli massi vähendamisega, kuna detailidevaheline pilu tuleb täita elektroodimetalliga. Praktikas kasutatakse keevismetalli massi määramiseks ühe meetri keevisõmbluse kohta tabelleid käsiraamatutest või tootekataloogidest.

Keevisõmbluse massi ja kulusid lisametallile saab vähendada:

- I-servakuju kasutamisega või võimalikult suure faasimisnurgaga,
- väiksema õhupilu kasutamisega detailide vahel,
- nurkõmbluste kõrguste vähendamisega, tagades suurema õmbluste läbikeevituse,



- täpsemate detailide valmistamisega ja hoolikama koostamisega.

## **Tööjõukulud**

Tööjõukulud sõltuvad eelkõige keevitusprotsessi pealekeevitustegurist ja kaare põlemisaja tegurist ehk suhtelisest põlemisajast.

Keevitamisel eristatakse kaareaega ja keevituspauside aega ehk mittekaareaega – abiaega, mis on seotud detailide kinnitamisega, sildamisega, räbu ja pritsmete kõrvaldamisega, masinate seadistamise või reguleerimisega. Liites mõlemad, saame keevitusaja või mehhaniseeritud keevitamise korral tsükliaja.

Praktikas kasutatakse mõistet “kaare põlemisaja tegur”, mis näitab kaareaaja suhet keevitusaega ehk tsükliiega (keevitamine + pausid). Majandusarvutustes opereeritakse selle teguriga, mis omakorda sõltub toodete keerukusest ja õmbluste pikkusest, nõuetest kvaliteedile, tööde korraldamise tasemest ja keevitusprotsessidest.

Kaare põlemisaja tegur on põhjamaades ja USAs sõltuvalt keevitusprotsessist järgmine:

- MIG/MAG-keevitus 20–50%, USAs 35%,
- käsikaarkeevitusel 20–45%, USAs 25%,
- räubustikaarkeevitusel 40–70%, USAs 50%.

Kaare põlemisaja tegurit saab parandada:

- keevitusprotsessi ja lisametalli valikuga, millega ei kaasne räbu ja pritsmete tekkimist,
- keevitusvigade ja praagi vähendamisega,
- keevitusseadmete kiire reguleerimise ja seadistamisega, nt sünergiliste MAG-seadmete kasutamisega,
- töökoha hea korraldamise ja varustamisega,
- keevituspositsioneeride ja rakiste kasutamisega toodete pööramiseks.

## Pealekeevitustegur ehk pealesadestustegur

Keevitusprotsessi tootlikkust iseloomustatakse ajaühikus sulatatud keevismetalli massiga, mida tuntakse pealekeevitustegurina või pealesulatustegurina ja mis võrdub ühe tunni jooksul sulatatud keevismetalli massiga kilogrammides. Pealekeevitustegur sõltub kaarkeevitusel keevituskaare võimsusest, keevitusvoolu kasvades see suureneb. Keevitusaeg väheneb pealekeevitusteguri kasvades.

Pealekeevitustegurit saab suurendada:

- suurendades keevitusvoolu,
- kasutades jämedamat elektroodi või keevitustraati,
- keevitades allasendis,
- kasutades rakiseid toodete pööramiseks (pöördlauad, rullikud, positsioneerid),
- kasutades automatiseerimist ja mehhaniseerimist,
- kasutades tootlikumaid keevitusprotsesse, nt keevitust räubustis,
- kasutades tootlikumaid lisametalle, nt täidistraati.

Summeerides keevituskulude elemendid, saame määrata 1 jooksva meetri keevisõmbluse tehnoloogilise omahinna. Suurema tootlikkusega keevitusprotsessi või lisametalli kasutamise positiivse efekti võib elimineerida töö halb korraldus või toorikute ja detailide halb kvaliteet (kõverad, lõikepinnad krobelised ja kõrvalekalletega, suured mõõtmete kõikumised). Lohakas keevitaja töö viib tavaliselt ettevõtte negatiivsete majandustulemusteni, **ettevõtte pankrotini ja ka keevitaja töökohta kadumisele.**

## Kordamisküsimused

1. Loetlege ohutegurid kaarkeevitusel ja keevitaja isiklikud kaitsevahendid.
2. Mida tuleb teha elektrilöögi vältimiseks kaarkeevitusel?
3. Milliseid ohutusmeetmeid rakendatakse keevitamisel mahutis?
4. Kirjeldage keevitaja töökohta.

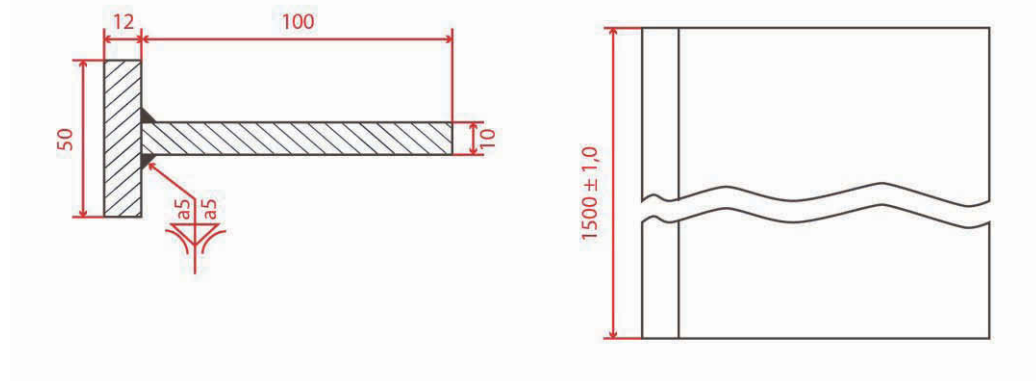
5. Kuidas on võimalik vähendada keevitamisel kaareaega ja keevitusaega?
6. Kuidas jämedama elektroodi kasutamine tõstab keevitamisel tootlikkust ehk pealekeevituskiirust?

## 9. Näidisülesanded (*case study*)

Allpool tuuakse näide terasest T-tala keevitustehnoloogiast üksiktootmise ja seeriatootmise tingimustes. Iseseisvalt töötatakse läbi kahe keevitusprotsessiga põkkõmb-luse ja toru-plaadi nurkõmb-luse keevitustehnoloogia ning analüüsitakse keevitaja tegevusi keevisõmb-luste kvaliteedi tagamisel. Etteantud keevisliidete eskiiside alusel töötatakse välja nende keevitustehnoloogia käsikaar- ja MAG-keevitusega.

### Näidisülesanne

Valmistage kaks 2 T-tala ja eraldi partii (80 tk) T-talaid terasest S235J2 paksusega 10 ja 12 mm, pikkusega 1500 mm, tolerantsiga 1,0 mm. Keevitatakse 2 nõgusat keevisõmb-lust kõrgusega 5 mm (vt joonis 9.1).



**Joonis 9.1. T-tala eskiis**

### Üksiku tala valmistamine

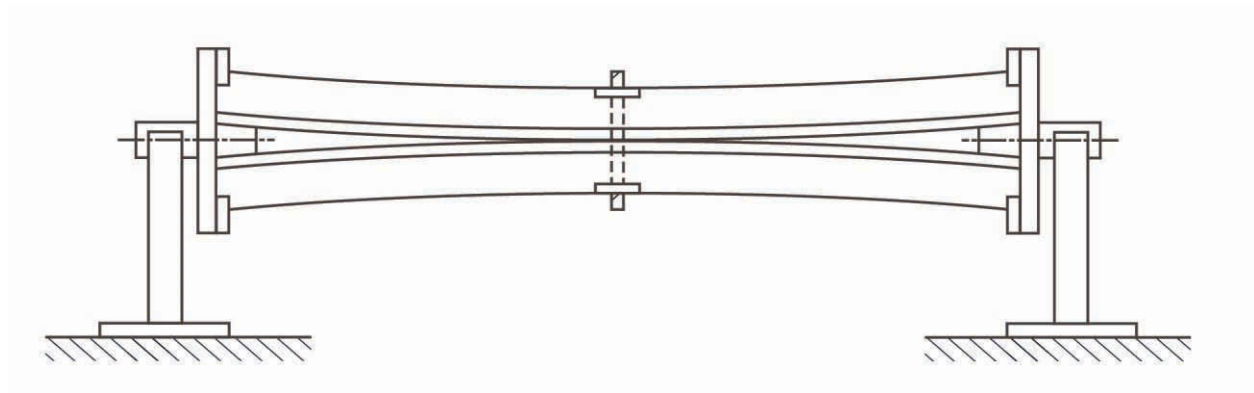
1. Lõigatakse toorikud pikkusega 1502 mm.
2. Keevitatakse keevitustraadiga läbimõõduga  $d = 1,2$  mm traagelõmb-lused pikkusega 20...25 mm. Traagelõmb-luste vahekaugus joonisel 6.2 toodud skeemi järgi on 300 mm. Kõigepealt traageldatakse detailide otsad ja siis ülejäänud.
3. Traageldatud detailid kinnitatakse rakisesse ja võimalusel pööratakse allasendisse PA. Keevitatakse lõikudena esimene läbim (lõigud 1 kuni 8) kõrgusega  $a = 3$  mm. Traagelõmb-lused sulatatakse õmb-luse sisse.

4. Keevitatakse teine läbim – lõigud 9 kuni 12, et saada nurkõmbluse kõrgus 5 mm. Keevitatusparameetrid:  $U = 29,5 \text{ V}$ , traadi etteandekiirus 9,5 m/min, keevitusvool 300 A.
5. Õgvendatakse püstplaat gaasipõletite kiilkuumutusega. Rõhtplaati võib õgvendada mehhaaniliselt, nt pressi abil.
6. Lõigatakse tala pikkusmõõtu.
7. Eemaldatakse keevituspritsmed ja lõikekoht käiatakse.

### Talade partii (80 tk) valmistamine

Valmistatakse 2 osas, kummaski 40 tala.

1. Lõigatakse toorikud pikusega 1502 mm.
2. Kinnitatakse 2 tala toorikud rakisesse nii, et neile antakse vastupidine läbipaine ja kinnitatakse keskelt kiiludega, seljad vastamisi (vt joonis 9.2). Läbipainde suurus täpsustatakse pärast esimeste talade keevitamist. Traagelõmblusi ei keevitata.
3. Keevitatakse lõikudena eelmise näitena toodud tala keevitamise kogemuste põhjal.



**Joonis 9.2. Talade keevitamise rakis. Vastupidine läbipaine antakse kiiludega**

4. Kontrollitakse esimesena valmistatud talade pikkust ja kuju hälbeid ning vajadusel muudetakse läbipainde suurst ja keevitusparameetreid.
5. Eemaldatakse keevituspritsmed ja käiaga lihvitakse lõpetuskohad.

# Näidisülesanded

## Ülesanne 1

Vaja on keevitada metallkonstruktsioonis plaadile paksusega 4 mm külge toru seinapaksusega 3 mm, nurkõmblusega, mille kõrgus  $a = 4$  mm. Vt liite eskiisi joonisel 5.8, õmblus nr 1. Terasemark S235J0. Kvaliteedinõuded defektide järgi EVS ISO 5817 tase C. Puuduvad erinõuded hermeetilisusele. Keevitamiseks kasutatakse:

- käsikaarkeevitust (protsessi tunnusnumber 111)
- MAG-keevitust (protsessi tunnusnumber 135)
- TIG-keevitust (protsessi tunnusnumber 141)
- Gaaskeevitust (protsessi tunnusnumber 311)

### Käsikaarkeevitus

1. Valige keevituselektroodi kattetüüp.
2. Valige klassifikatsiooni järgi keevituselektrood ja konkreetne elektroodimark internetist, kirjeldage keevitustehnoloogilisi omadusi internetis oleva tootekataloogi põhjal.
3. Tehke kindlaks, kas elektroodi on vaja enne kasutamist kuivatada (vt tootekataloogi).
4. Määrake elektroodi läbimõõt tabelite abil.
5. Määrake keevitusvool kas valemite või tabelite abil.
6. Mõelge läbi detailide kinnitamine: traagelõmblused ja keevitusjärjestus, keevisõmbluse puhastamine.
7. Hinnake visuaalselt keevisõmbluse kvaliteeti.
8. Pakkuge välja, millised peaksid olema keevitaja sertifikaadi EVS ISO 9606-1 põhipunktid. Tooge välja toote tüüp (plaat, toru), õmbluse tüüp (põkk- või nurkõmblus), keevitusasendi tähis ja kas keevitatakse ühe või mitme läbimiga.

## **MAG-keevitus ehk poolautomaatkeevitus. Kasutatakse tavavooluallikat**

1. Analüüsi joonist: toote tüüp (toru või plaat), keevisõmbluse tüüp, keevisõmbluse arvutuslik mõõde, selle määramise mõõtevahendid, keevisõmbluse asend.
2. Hinnake ettekuumutuse vajadust terase margi või voolavuspiiri järgi.
3. Valige keevitustraadi mark ja läbimõõt, traadi kanali läbimõõt.
4. Valige kaitsegaas ja näidake tingtähis.
5. Valige tabelitest keevitusparameetrid ja selgitage nende valiku järjekorda.
6. Tehke kindlaks keevituskaare tüüp või elektrodimetalli siirdeviis (lühikaar, vahekaar, pihustuskaar).
7. Kontrollige keevitusseadme seadistamist:
  - Traadi etteanderullide valik, etteanderullide surve reguleerimine.
  - Traadi kanali kinnitamine või vahetamine, voolukontakti valik.
  - Traadi pooli pinguse reguleerimine ja juhttorude asendi sobivus.
  - Kaitsegaasi reduktori seadistamine etteantud gaasihulga saamiseks (tegevused gaasivoolu kontrolliks keevituspüstolilt).
  - Keevituspüstoli ja voolukontakti kontroll ja ettevalmistus keevitamiseks.
  - Keevitusparameetrite täpsustamine proovikeevituste abil (selgitage, kuidas leitakse tööpunkt ja kuidas määratakse voolukontakti kaugus).
8. Traagelõmbluste keevitamine.
9. Keevisõmbluse keevitamine ja puhastamine.
10. Keevisõmbluse visuaalne hindamine. Kohati esines õmbluse kõrval sisselõiget soonena sügavusega 0,8 mm. Selle keevitusvea parandamine. Keevisõmbluse kõrguse mõõtmine.
11. Kirjeldage keevitaja sertifikaadi EVS ISO 9606-1 põhipunkte antud õmbluse keevitamiseks.

## Ülesanne 2

Keevitage põkkõmblustega kokku 2 plaati paksusega 6 mm (terase mark S235J2). Plaatide pikkus 1200 mm, laius 500 mm. Vaata eskiisi joonisel 5.8, õmblus nr 9. Keevitatakse ühelt poolt MAG-keevitusega või käsikaarkeevitusega.

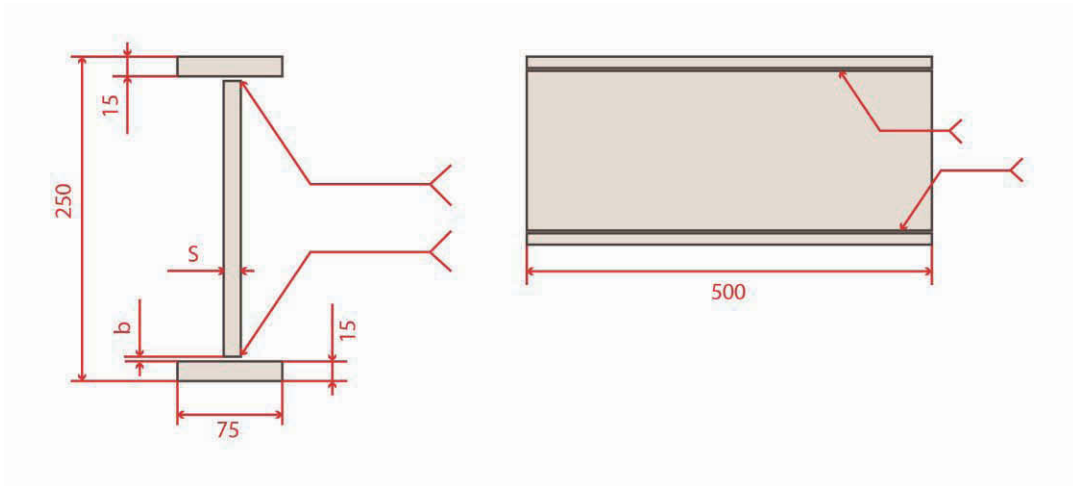
## Ülesanne 3

Töötage välja joonistel 9.2, 9.3, 9.4 ja 9.5 toodud keeviskoostude keevitustehnoloogia. Materjal: ehtusteras S235J2.

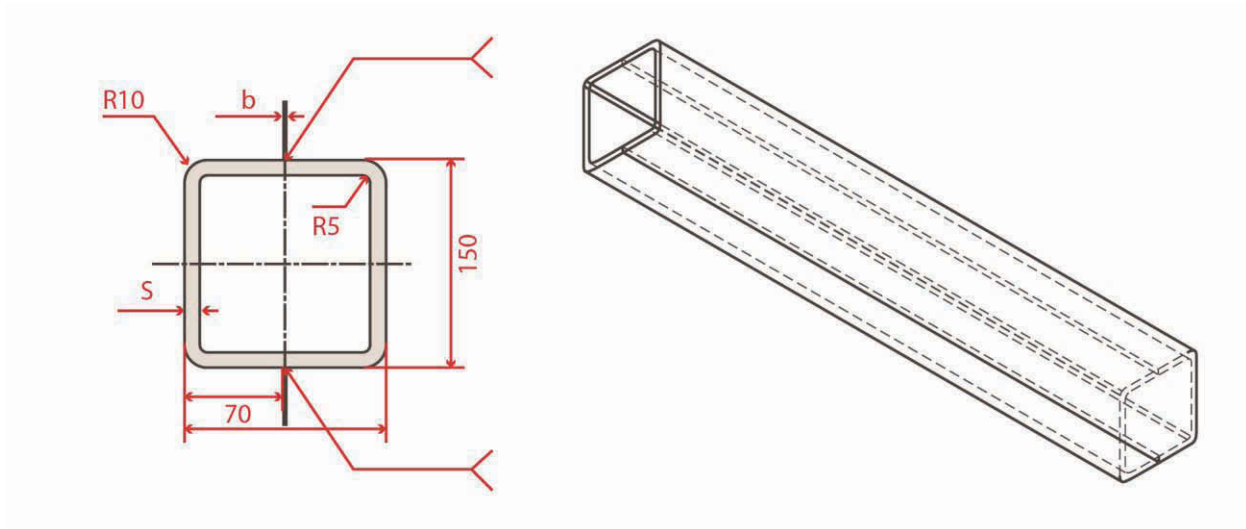
Ülesandes on vaja lahendada järgmised punktid:

1. Määrake keevisõmbluse ja liite tüüp. Nõuded keevitusdefektidele standardi EVS ISO 5817 järgi tase: C. Nurkõmbluse korral määrake õmbluse kõrgus.
2. Määrake keevitusasend või eelistatav keevitusasend.
3. Võrrelge iga keevitusprotsessi võimalusi, eeliseid ja puudusi. Ühel juhul keevitatakse üksikut toodet üksiktootmises, teisel juhul saritootmises partiina, nt 40 keeviskoostu.
4. Valige keevitusprotsess nii üksiktootmise kui saritootmise tarvis.
5. Näidake joonisel keevisliite tähistuses keevitusprotsessi tunnusnumber ja kvaliteeditase.
6. Kirjeldage valitud keevitusprotsessi olemust, soovitatavalt skeemi ja selgitustega.
7. Keevitusematerjalide (elektroodide, traatide, kaitsegaaside) põhimõtteline valik.
8. Keevituseparameetrite määramine.
9. Toorikute lõikamine ja keevitamiseks ettevalmistamine.
10. Traagelõmbluste keevitamine ja keevitusjärjestus.
11. Kirjeldage võimalikke keevituseformatsioone ja pakkuge välja meetmed nende vähendamiseks pärast keevitamist.
12. Keevisliidete kontroll. Kuidas hindaksite toru keevisliite hermeetilisust?

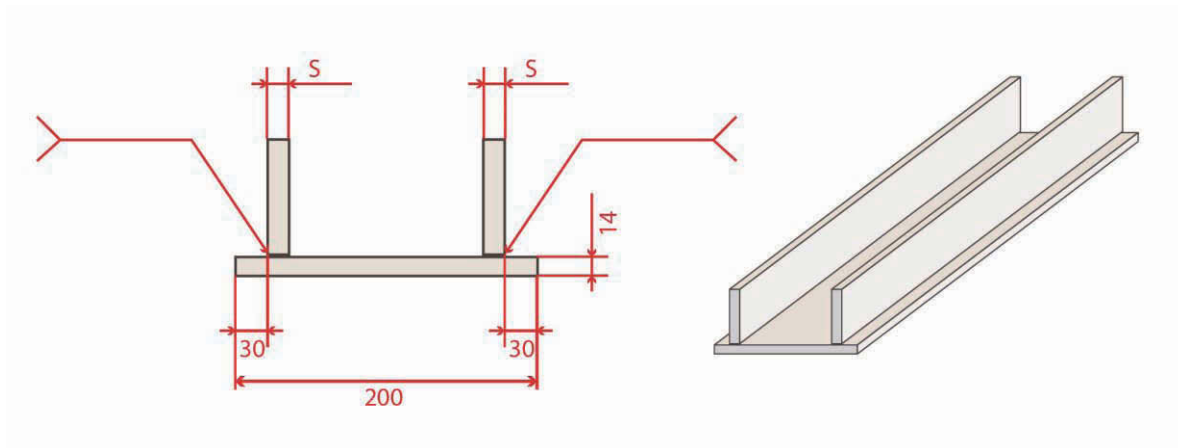




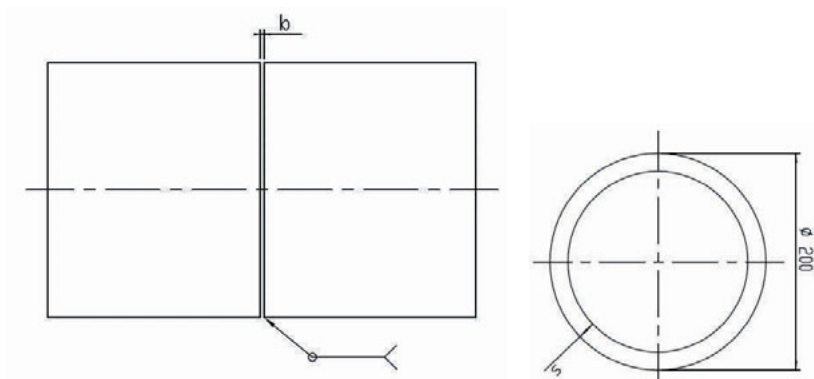
**Joonis 9.2. I-tala. Püstise plaadi paksus 12 mm, nurkõmbeluse kõrgus  $a = 6$  mm**



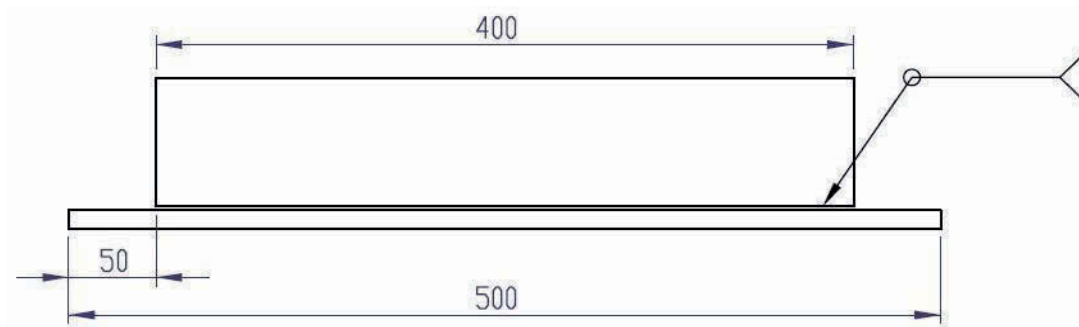
**Joonis 9.3. Karpraudadest tala pikkusega 1000 mm, materjali paksus 3 mm**



**Joonis 9.4. Kaksik T-tala. Materjali paksus 4 mm, nurkõmbuste kõrgus  $a = 3$  mm, tala pikkus 1000 mm**



**Joonis 9.5. Torude põkklide. Toru seina paksus 5 mm, pikkus 400 mm. Torude asendid: horisontaalse teljega, vertikaalse teljega, kaldu teljega 45-kraadise nurga all**



**Joonis 9.6. Keevitatud T-tala. Plaadi paksus 8 mm, nurkõmbuse kõrgus  $a = 5$  mm**

## Viidatud allikad

1. Stepanov, V., Keevitaja käsiraamat, Tallinn, Valgus, 1991, 504 lk.
2. Kulu, P.; Kübarsepp, J., jt. Metalliopetus ja metallide tehnoloogia II, Tallinn, TTÜ Kirjastus, 2001, 380 lk.
3. Karaganova, T. Keevitus – sütitav idee, Tallinn, Kirjastus TEA, 2010, 144 lk.
4. Lepola, P. ja Makkonen, M, Hitsaus ja teräsrakenteet, Porvoo, WS Bookwell OY, 2003, 559 lk.
5. Matthes, K. Schweißtechnik, Fachbuchverlag Leipzig, 2008, 471 lk.
6. Kulu, P. jt Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn, TTÜ Kirjastus, 2013, 492 lk.
7. Anthony, V. Welding . Level 2, Trainee Guide, Prentice Hall, 2009,
8. Stokker, tootekataloog, 2011/2012.
9. Sokolov, I, Gaaskeevitus, Tallinn, Valgus, 1981, 296 lk.
10. Hrpjapkin, V; Lakedemonski, A, Jootetööd, Tallinn, Valgus, 1982, 296 lk.
11. AGA tootekataloog, 2010.
12. Kulu, P, Insenerimaterjalid V, Pulberpinded, 2002, 71 lk.
13. Castolin Eutectici tootekataloog 2012.
14. Laansoo, A, Keevitamine. MIG/MAG-keevitus. Tallinn, Argo, 2010 ja 2014.
15. Laansoo, A, Keevitustehnoloogia. Tallinn, TTÜ Kirjastus, 2011, 172 lk
16. Baum, L; V.Fichter, V, Der Schutzgasschweisser, Teil II: MIG/MAG-Schweisser DVS Verlag GmbH, 1999, 161 lk.

