

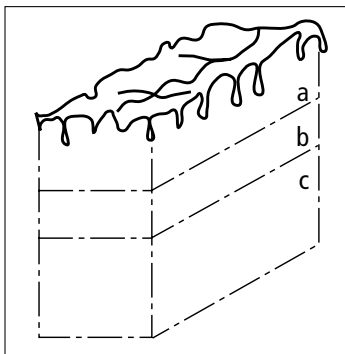
TULEKINDLALT PUIDUST

Üsna laialt levinud arvamuse kohaselt ei ole puidust võimalik tulepüsivalt ehitada. Allakirjutanu püüab seda seisukohta kõigutada, käsitledes artiklis just puidust kandetarindite tulepüsivust.

Puitu pole võimalik ühegi immutuse või keemilise kaitsevahendiga muuta mittepõlevaks materjaliks, seda saab muuta ainult raskelt süttivaks. Seejuures on praktilisest teada väga vähe juhtumeid, kui tulekahjus süttivad esimesena konstruktsioonid.

Kuidas puit põleb?

Puit süttib kas otseselt leegist või suurest kuumusest. Leekide puudumisel peab süttimiseks vajalik pinnatemperatuur tõusma üle 400 °C. Leekide



Joonis 1. Põlenud puidu lõige
a – söestunud puit
b – pürolüüsikiht
c – tulest puutumata puit

olemasolul süttib puit, kui pinnatemperatuur on mõnda aega püsinud 300 °C juures.

Tuli levib mööda puitelemendi pinda, tekitades üha uusi tulekoldeid. Alguses on põlemine intensiivne, mille tulemusena moodustub ristlõike ümber isoleeriv puusöe kiht. Keemiline lagunemine algab puidusöe ja põlevate gaaside



FOTOD: A. JUST, K. ÖIGER, JOONISED: EPN 5.1.2: STEP

Meenutus “ebaõnnestunud” süütamisest Tallinna Toomkiriku puidust tornis.

koosmõjul ning terve puidu ja söestunud puidu vahele tekib nn **pürolüüsikiht**. See on umbes 5 mm paksune tsoon, kus puit on tule poolt keemiliselt mõjutatud, kuid pole veel täielikult lagunenu.

Kui põlengu ajal on pürolüüsikihialune puit saavutanud temperatuuri 100 °C, hakkab puidus olev vesi aurustuma. Aur väljub avatud pooridest, sõlmedest jm kergemini läbitavatest väljapääsudest. Temperatuuri tõus peatub, kuniks kogu vesi on aurustunud.

150 ja 200 °C vahel genereeritakse gaase, mis sisaldavad 70% põlematut süsinikdioksiidi CO₂ ja 30% põlevat süsinikoksiidi CO. Kui temperatuur tõuseb 200 °C-ni, formeerub järjest enam põlevaid gaase ja CO₂ proportsioon langeb. Gaaside süttimisel kasvab pinnatemperatuur kiiresti. Puidu karboniseerumine jätkub. Pürolüüsikiht laguneb.

Üle 500 °C juures tekib gaasi väga vähe, söe “tootmine” aga kasvab. See seletabki puidu välimust pärast tulekahju.

Puusöe soojusjuhtivus on ainult 1/6 puidu omast. See tä-

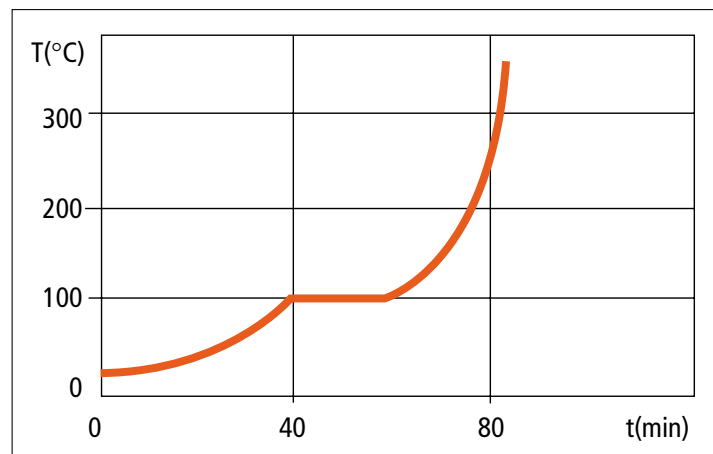
hendab, et söekiht moodustab terve puidu ümber justkui isolatsioon, mis aeglustab selle edasist kahjustumist. Tänu isoleerivale söekihile on puidu temperatuur sügavamal tunduvalt madalam kui pinnakihil.

Puitelemendi ristlõike tuum jääb külmaks ka väiksel kaugusel põlevast tsoonist. See väldib konstruktsioonis kui tervikus kahjustavate temperatuuripingete tekkimist. Põlemata osal säilivad kõik kandevõime omadused, välja arvatud vähenemine mõõtmetes.

Puitelemendi tules käitumist mõjutab tema külgsuuna ja ruumala suhe. Mida suurem see suhe on, seda kergemini element süttib ja seda kiiremini leek levib. Seda suhet suurendavad kare pind ning praod. Liimpuidu söestumiskiirus ongi seetõttu, et reeglina ei ole selles pragusid, väiksem kui monoliitpuidul.

Aeg, mis kulub puidu süttimiseks ja põlemiseks, sõltub puidu tihedusest. Nõnda käituvad erinevad puuliigid tules erinevalt. Mida tihedam puit, seda raskemini see süttib.

Joonis 2. Temperatuuri muutus (pürolüüsikihi all) puidu kuumenemisel



Kandetarindite nõutav tulepüsivus

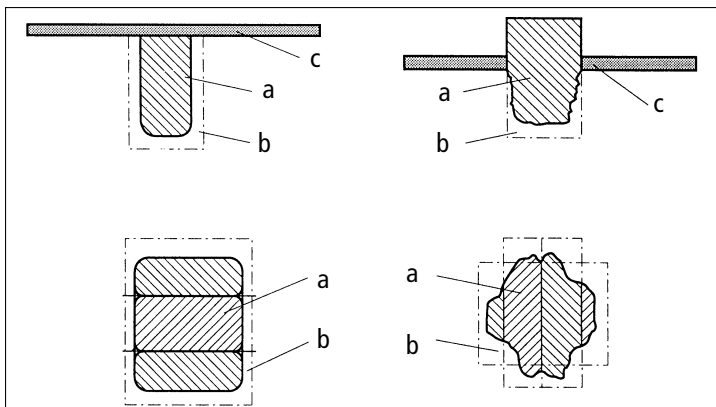
Kandetarindite nõutava tulepüsivuse kohta on kehtestatud nõuded Eesti projekteerimisnormi EPN 10 "Ehitiste tulepüsivus" 1. osas.

Kandetarindite tulepüsivusnõuet väljendab põhiliselt kandevõimekriteerium R_{xx} , s.o kriteerium, mis iseloomustab konstruktsiooni või selle osa võimet kanda nõutava suurusega koormust etteantud tulekahju kestel (xx – aeg minutites).

Ehitised jagatakse teatavasti kolme tulepüsivusklassi.

- TP-1 hoone püstitatakse mittepõlevatest kandekonstruktsioonidest.
- TP-2 hoone maapealse osa kandetarindid võivad olla põlevast materjalist.
- TP-3 hoone tarindite tulepüsivuse nõudeid ei esitata.

TP-1 kandetarindite tulepüsivused on R120, R90, R60; TP-2 klassi hoonel R30. Seega nõutakse TP-1 klassi hoone kandekonstruktsioonide püsivust tulekahjuolukorras vasta-



Joonis 3. Postid ja talad enne ja pärast põlemist. (a) jääkristlõige, (b) söestunud puit, (c) tuletõkked

valt 1...2 tundi.

Lisaks nõutavale tulepüsivuse kandevõimekriteeriumile nõutakse TP-1 klassi hoonete puhul kindlasti mittepõleva materjali kasutamist. Selle nõude taha põrkuvad Päästetameti mitmed puitkarkasshoonete projektid.

Mida rangemad on nõuded tarindite tulepüsivusele, seda



Håkani hall Lillehammeris. Puidust kaarsõrestikud sildeavaga kuni 100 meetrit.

suuremad on lubatud tuletõkkesektsioonide ehk omavahel tulekindlalt eraldatud hoone osade piirpindalad. Seega, võrreldes näiteks teras- ja puitkarkasshoonet, siis Eesti projekteerimisnormide järgi tuleb puitkarkasshoone ehitada

kokku variseda. Selles mõttes on puit terasest vastupidavam. Nagu öeldud – tulest puutumata jääva puidu (ristlõike keskel) tugevusomadused ei muutu ja konstruktsioon jääb püsima niikauaks, kuni terve ristlõikeosa suudab koormust kanda. Kumb olukord on ohutum?

Suurte puidust kandekonstruktsioonide puhul tulekaitsevõõpa ega -kattematerjali tavaliselt ei kasutata. Vajalik tulepüsivus tagatakse piisavalt suure ristlõikega (nähaakse ette projekteerimisel), mille juures on arvestatud puidu põlemiskiirust.

Kuidas puitarindi tulepüsivust arvutada?

Juhised selleks annab 2001. aasta märtsis Eesti Projekteerimisnormide sarjas ilmunud EPN 5.1.2 "Puitkonstruktsioonid. Tulepüsivus."

Normide järgi võib tulekahju mõju puitmaterjali omadustele ja ristlõike parameetritele arvestada kolmel erineval viisil.

1. Lihtsustatud efektiivristlõike meetod – leitakse efektiivristlõikega elemendi

kandevõime eeldusel, et tulekahju ei mõjuta tema tugevus- ja jäikusomadusi. Tugevus- ja jäikusomaduste vähenemine kompenseeritakse söestumissügavuse mõningase suurenemisega.

2. Vähenetatud tugevuse ja jäikuse meetod – arvutatakse jääkristlõikega elemendi kandevõime vähendatud tugevus- ja jäikusomadustega.

3. Üldmeetod – võetakse arvesse jääkristlõike iga punkti temperatuuri ja niiskussisaldust, samuti materjali tugevus- ja jäikusomaduste vahetõlke ühelt poolt ning temperatuuri ja niiskussisaldust teiselt poolt.

Vaatleme siinkohal kõige lihtsamat ja enamkasutatavat

efektiivristlõike meetodit.

Lühidalt öeldes kasutatakse tulepüsivusarvutuses väiksemaid koormusi, vähendatud ristlõiget ja suuremat tugevust kui normaaltemperatuurijärgses tugevusarvutuses.

Koormused. Tulekahjuolukorras arvestatakse avariikoormusega, st ülekoormustegureid ei rakendata ning kasu-

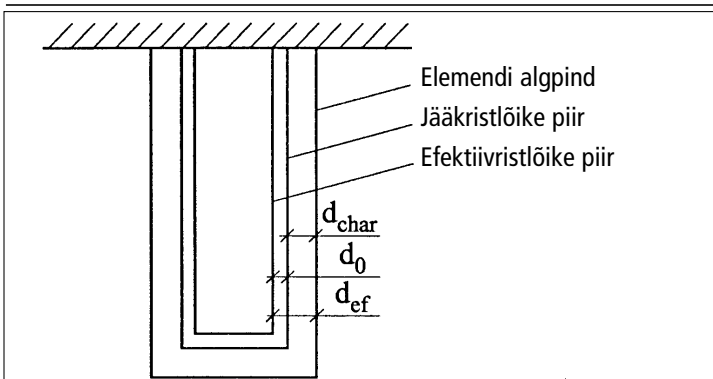


Konstruksioonide tulepüsivus R120 on tagatud piisava ristlõike suurusega.

tatakse vastavaid normkoormuse vähendustegureid. Näiteks mingi katusekonstruktsiooni arvutamisel arvestatakse omakaal teguriga 1,0 ning kas lumekoormus teguriga 0,2 või tuulekoormus teguriga 0,5. Tuule- ja lumekoormuse koostõju ei arvestata. Vahelae-konstruktsioonidele rakendatakse lisaks omakaalule kasukoormus teguriga 0,3...0,8.

Tugevus ja jäikus. Kandevõime kontrollimiseks määratakse arvutustugevus ja -jäikus, mis liimpuidu puhul on üldjuhul võrdne 1,15-kordse vastava normatiivse tugevusega ning monoliitpuidu puhul 1,25-kordse normatiivse tugevusega. Materjali osavarutegur on 1,0.

Joonis 4. Jääk- ja efektiivristlõike määratlus

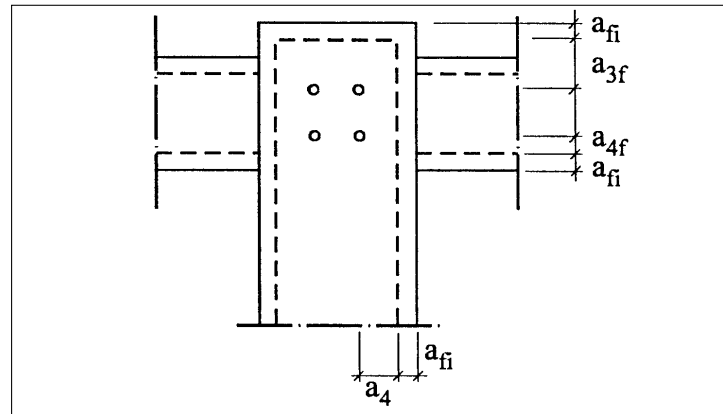


Näiteks: tugevusklassiga GL28c liimpuidu arvutuslik paindetugevus normaaltemperatuuril arvutusteks on $28 \times 0,9/1,3 = 19,4 \text{ N/mm}^2$. Tulekahjuolukorras on vastav arvutustugevus $28 \times 1,15/1,0 = 32,2 \text{ N/mm}^2$.

Ristlõike määramine. Leitakse allesjäänud efektiivristlõike. Selleks vähendatakse elemendi ristlõiget söestumissügavuse ja üldjuhul 7 mm lisakihi võrra (vt joonist 4). Ristlõiget vähendatakse ainult tulele avatud külgedest.

Söestumissügavuse leidmisel arvestatakse järgmiste põlemiskiirustega:

- okaspuit – 0,8 mm/min
- lehtpuit – 0,5 mm/min
- liimpuit – 0,7 mm/min



Joonist 5. Täiendav paksus ning sidemete täiendav otsa- ja servakaugus R15-st suurema tulepüsivusklassi puhul

• vineer – 1,0 mm/min
Näiteks liimpuidust katusekandja ristlõige on 200 x 600 mm. Element on tulele avatud kolmest küljest. 60-minutilise tulepüsivuse saavutamiseks tuleb ristlõiget vähendada suuruse $60 \times 0,7 + 7 = 49 \text{ mm}$ võrra. Kuna tuli pääseb ligi kolmest küljest, siis on efektiivristlõike suurus 102 x 551 mm.

Toodud tugevuste, koormuste ja ristlõikega kontrollitakse konstruktsioonide kandevõimet tulekahjuolukorras. Sealjuures tuleb stabiilsuse arvutamisel jälgida, et kui elemendi jäikusside tulekahjuolukorras puruneb, siis sellega arvutuses ei arvestata.

Liited

Erinõuded esitatakse ka liidetele. Puit-puiduga liited ning terasest keskmise elemendiga teras-puiduga liited, milles on kaitsmata naelad, kruvid, polidid või naaglid, võib paigutada tulepüsivusklassi R15.

Suurema tulepüsivusklassi kui R15 korral tuleks elementide paksust ning sidemete otsa- ja servakaugust suurendada vastava suuruse a_{fi} võrra (vt joonist 5). Näiteks tulepüsivuse R60 saavutamiseks peab liimpuitelemendi otsa- ja servakaugust suurendama 31,5 mm võrra, monoliitse okaspuidu puhul 36 mm.

Lillehammeri ja Hamari olümpiaehitised on projekteeritud tulepüsivusele R120 ja ainult liimpuidust välja jäävad terasosad (plaadid, pol-

dipead jm) on kaitsstud tulekaitsevõõbaga. Puit ise on kaitsmata. Liimpuitfermide sildeavad ulatuvad kuni 120 meetrini.

Kokkuvõtteks pakun, et kandetarindite puhul võiks üldjuhul kaaluda ainult tulepüsivusaja nõudmist, täpsustamata, kas materjal ise on põlev või mitte. Täielik mittepõlemine on reaalselt vajalik ainult väga harvadel juhtudel.

ALAR JUST,
TEHNIKAMAGISTER