

PUIT PÄEVAKORRAL KOGU MAAILMAS

Puit, mida inimkond on kasutanud ehituskunsti sünnist saati, on üks väärtuslikumaid ehitusmaterjale nii konstruktsioonides kui kujunduses. Puidul on terve rida omadusi, mida ühelgi teisel materjalil pole. Ka kogu maailma ehitusteaduses tegeldakse puiduga üha intensiivsemalt. Näiteks mullu augustis toimus Genfi järve kaldal kaunis Montreux' linnakeses kohalikus kongresside keskuses 5. ülemaailmne puitkonstruktsioonide inseneriteaduste konverents (The 5th World Conference on Timber Engineering). Neid peetakse iga kahe aasta tagant vaheldumisi erinevates maailmajagudes. Järgmine toimub aastal 2000 Briti Columbias, Kanadas.

5. ülemaailmne puitkonstruktsioonide inseneriteaduste konverents Montreux's näitas, et puitkonstruktsioonide kasutamise populaarsus maailmas tõuseb. Ökoloogilisele ja taastuvalle loodusmaterjalile pööratakse maailmas järjest suuremat tähelepanu. Tulemas on puidusajand.

Montreux' konverentsist võttis osa 542 inimest 52 riigist. Teadlasi, projekteerijaid, tootjaid ja ehitajaid ning tudengeid oli saabunud kõigilt kontinentidelt. Šveitslaste ja nende lähinaabrite suurearvulise esindatuse kõrval oli väljapaistev ka jaapanlaste huvi (62 osavõtjat), võimsast ehitusriigist USA-st oli tulnud suhteliselt väiksem 55-liikmeline delegatsioon. Märkatav oli soomlaste kohalolek, seda nii 24 teaduri kui ka kõnede poolest. Meie põhjanaabrite tunnustuseks peab veel lisama, et 2002. aastaks planeeritud 7. ülemaa-



Vevey 5-korruseline elumaja.

ilmse puitkonstruktsioonide inseneriteaduste konverentsi korraldusõigus usaldati just neile. Eestit esindasid Karl Õiger Tallinna Tehnikaülikoolist ja allakirjutanu.

Montreux' konverentsi korraldas Lausanne'is asuv Šveitsi Föderaalne Tehnikaülikool. Eesistuja, ülikooli puitkonstruktsioonide professor Julius Natterer tähistas 1998. aastal oma 60. sünnipäeva. J. Natterer on teadlane, kes oskab siduda teooriat praktikaga – talle kuulub konsultatsiooni- ja projekteerimisfirma Saksamaal. Konverentsi peasekretär oli sama ülikooli professor Jean Luc Sandoz.

Konverents kestis neli päeva. Selle aja jooksul esitatud 180 kõne ning 174 stendiettekanne teemadering ulatus n-õ seinast seinale, alates vanade Jaapani majade uurimisest kuni tuleviku Maailmatornini Pariisis ja ümarpuidu paremast kasutamisest kuni "inseneripuiduni" – s.o liimpuit, vineer-

ribapuit või kuumalt kokkupressitud puit jms. Järgnevalt on puudutatud mõnda autori arvates huvitavat teemat.

Konverentsi ettekanded andsid pildi puidu kui konstruktsioonimaterjali kasutamisest ja arendamisest. Ettekanne baasil võib võrrelda Eestit teiste maailma maade taustal ning öelda, et midagi revolutsiooniliselt uut ning meie puidumeestele tundmatut Montreux's ei räägitud. Silma hakkas arenenud maade parem tehniline varustatus katsetamisel, andmete töötlemisel ning uurimistöödes, mis annab suurt aja kokkuhoidu. Samuti oli tunda nende riikide ja tööstuse suuremat huvi puidualase teadus- ja arendustegevuse vastu. Kui Eesti hetkeseisu täpsustada, siis seoses hariduse ja teaduse vähesa tähtsustamisega valitseb meil praegu paigalseis. Selle jätkudes võime üsna kiiresti maailma keskmisest ta-

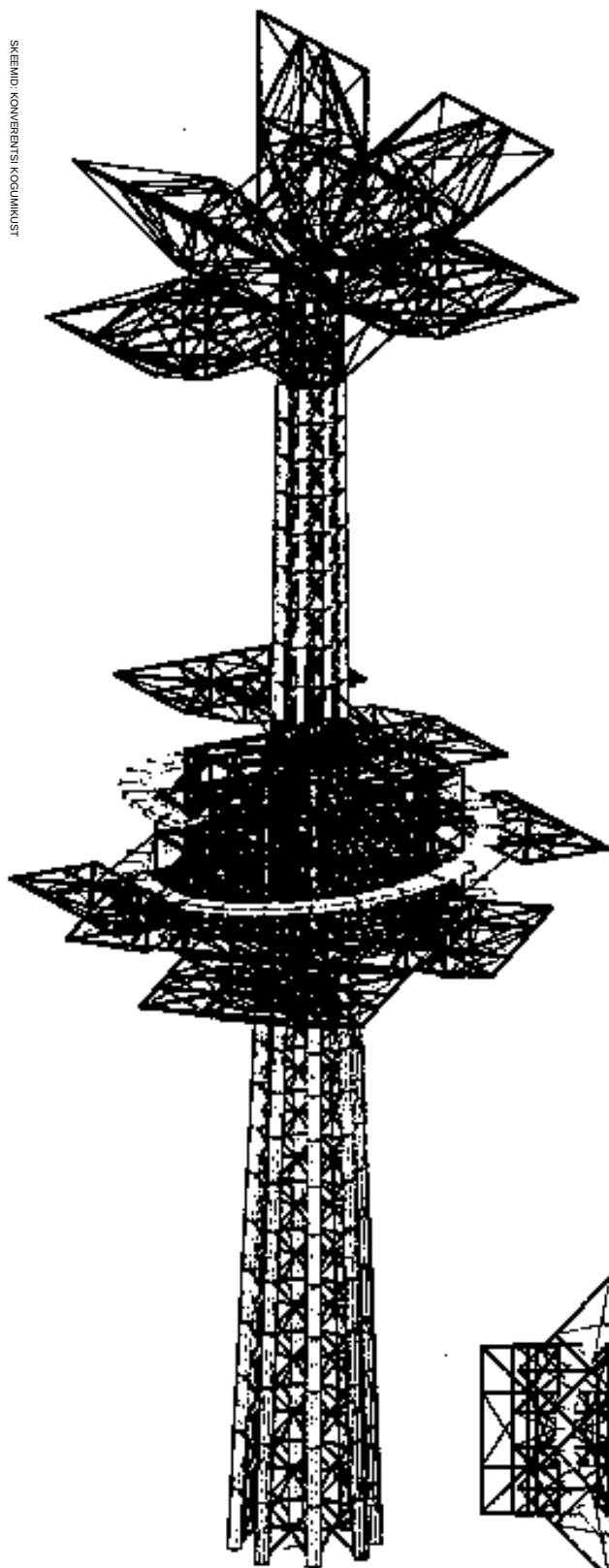
semest maha jääda.

Professor Julius Natterer ütles oma avakõnes, et puitkonstruktsiooniteadus oli kuni 1970. aastate alguseni suhteliselt kitsa organisatsioonide ning akadeemiliste institutsioonide ringi huvi. Puitkonstruktsioone ignoreeriti Euroopas pärast Teist maailmasõda peaaegu täielikult.



FOTOD: A. JUST

Alar Just ja Karl Õiger Montreux' konverentsihalli ees.



Maailmatorn (The Tower of Earth) kül- ja pealtvaates.

Nüüd on puit hakanud esile kerkima kui 21. sajandi konstruktsioonimaterjal. Seda eriti metsariikides ja tänapäeva kõrgete keskkonnanõuete tõttu. Ülikoole, kus tehakse puitkonstruktsioonidealaseid uurimistöid, tuleb kogu maailmas järjest juurde. (Ka TTÜ-s on eraldi puitkonstruktsioonide õppetool, üks väheseid maailma tehnikaülikoolides). Loodud on mitmeid riiklikke ja rahvusvahelisi projekte, nagu näiteks National Timber Bridge Initiative USA-s või programm Nordic Wood Põhja-maades. Tänapäeval on paremad šansid pikaajaliseks eduks ainult neil, kes arvestavad oma arvutustes keskkonnaga.

J. Natterer märkis naljaga pooleks, et kui võrrelda betooni ja puitu, siis lisaks kõigele muule, mida saab mõlemast materjalist teha, võivad puidumehed kiidelda veel sellega, et puidust saab ehitada ka laevu ja lennukeid.

Austria arhitekt Konrad Merz lisas, et monoliitpuitu ei saa tema anisotroopia, laia tugevusomaduste kõikumise ning ka kahanemis-paisumisomaduste tõttu igal pool kasutada. See on esile kutsunud vajaduse n-ö inseneripuidu järele, millel on palju homogeensemataid omadused ning millest saab valmistada suurema ristlõikega detaile. Olgu näiteks toodud liimpuit, vineerkihtpuit (*kertopuu*, *parallam*) või ka tihendatud puit (*densified wood*).

Arhitekt Roland Schweit-

zer: "Puit on vanim ehitusmaterjal ja tema roll väga lähedalt seotud inimkonna ajalooga. Suursugusena nõuab puit oma kalduvustest tingituna pöördumist täiuslike teadmiste juurde."

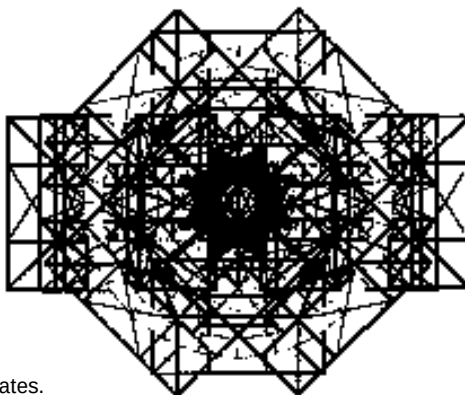
Taolistel maailmakonventsionidel esitatakse uurimusi mitmete konstruktsioonipuiduna kasutatavate puuliikide käitumistest. Seekord näiteks Iraanis kasvava alderi ja keruingi, Aafrika mahagoni ning Austraalias levinud sekvoia kohta. Meie huviorbiidist jäävad need eksootilised liigid tavaliselt kaugemale. Euroopas on põhiliseks konstruktsioonipuiduks harilik mänd, harilik kuusk, lehis, kask ja tamm.

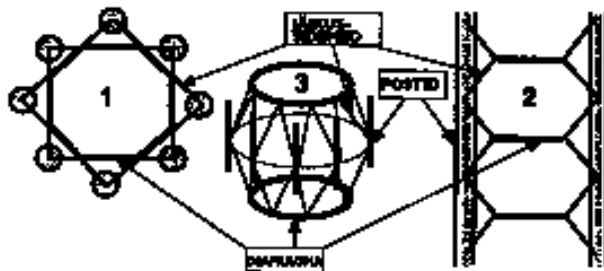
Põhjamaade range ja ütleksin, et intelligentne puitarhitektuur vastandub keskeurooplaste õhuliste ja väga huvitavate lahendustega. Eesti jääb selles suhtes kindlalt esimesele poolele. Kui näiteks Šveitsi sildadel on iga pisim detail konstruktsioonisõlmedes kujundatud täiuslikkuseeni, siis meil rõhutatakse just kohmakamaid polte ja osi. See demonstreerib võib-olla ka sõlme tugevust.

Puitkonstruktsioonide projekteerimise euronormid Eurocode 5 on edukalt kasutusel just Euroopa Liitu mittekuuluvates riikides, sh Eestis (EPN-ENV 5) ja Tšehhis, Euroopa Liidu riigid on veel oma vana-aegses normides kinni.

Konstruktsioonipuidu kasutamise võimalusi

Densified wood on umbes 140 °C juures ja 25 MPa rõhu all kahekordses mahus kokku pressitud puit. Selle tõmbetugevus on tavalise puiduga võrreldes ca 70% ja nihketugevus mitu korda suurem. Näiteks kuuse mahukaal suureneb niisuguse töötlemisega 430 kg/m³-lt 1300 kg/m³-ni. Probleem seisneb aga selles, et niiskuses võib kokkupressitud puit jälle endiseks paisuda. Viie puidu struktuuri pöörduma-





Maailmatorn: 1. Horisontaallõige, 2. Vertikaallõige, 3. Lihtsustatud skeem.

tuks töötlemiseks otsitakse.

J.-L. Sandozi poolt uuritud kombineeritud liimpuidu (*multi glued laminated timber*) efekt tuleneb sellest, et materjali ristlõike ülemise ja alumise 1/6 kõrguses on lamellid liimitud vertikaalselt. Sel juhul ei sõltu tala tugevus hammasliite tugevusest, vaid ainult lamelli materjali tugevusest. Viimane on üldiselt hammasliite tugevusest suurem. Sellise liimpuidu tugevus on kasvanud normaalse horisontaalselt paiknevate lamellidega liimpuidu tugevusega võrreldes kuni 50%, hind aga ainult umbes 5% võrra.

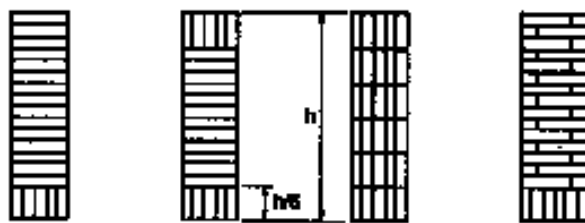
Tugevuse määramisel on kõikumine (variatsioonitegur) väga väike, mis lubab seda puitu klassifitseerida kõrgemates tugevusklassidesse (GL32, GL36).

Tugeva konstruktsiooni- ja liimpuidu saamise eelduseks on väga hea sorteerimine, millele meie saeveskid veel suurt tähelepanu ei pööra. Masinsorteerimine on sealjuures palju täpsem kui visuaalne. Sorteerimismasin määrab paindetesti- ga tugevusklassi igale lauale.

Pingelamellplaadid

Üsna laialdast kasutamist on leidnud terasvarraste abil pingestatud plankudest koosnevad nn pingelamellplaadid. Need võeti kasutusele 1981. aastal Ontarios, Kanadas. Esimesed plaadid pandi kokku ümarpuidust ning olid mõeldud metsaveoteede rajamiseks. Täna on USA-s ehitatud

pingelamellplaatidest rohkem kui 400 silda. Eriti populaarsed on need teist järku maanteedel ning metsaveoteedel. Pingelamellplaate on sillaehituses ja vahelagedeks edukalt kasutatud ka Soomes ja Root-



Näiteid multilamell-liimpuidust.

sis. Niisuguste vahelagede helipidavus on talalagede omast palju parem.

Pingelamellplaadi tööpõhimõte on rajatud piisavale lamellidevahelisele hõõrdele. Plaat koosneb lamellidest, pingestusvarrastest ning tugevast äärelükkemest. Pingestusvarrad asuvad plaadi paksuse suhtes keskel, nende omavahe- line kaugus on 600 mm.

Plaadi pingestamine toimub järk-järgult, tavaliselt hüdrotrungraua abil. Näiteks Rootsis võetakse eelpinge suurusks 1,0 MPa. Edasise tööna oleks vaja pingelamellplaatide lihtsaid arvutuseeskirju. Samuti on vaja rohkem uurida niiskuse muutuse mõju pingetele.

Pingelamellplaate võiks Eestiski ökonoomse alternatiivmaterjalina (plaadi valmistamiseks sobib ka madala tugevusklassiga puit) kasutada silladekkide või vahelagede ehitamiseks.

Puidust korrusmajad

Sven Thelandersson (Lundi Ülikool) rääkis konverentsil puidust korrusmajade nelja-teistkümnest pilootprojektist Põhjamaades. Töid puitmajade konstruktsioonide täiustamiseks sundisid tegema kriis ehitussektoris, kõrgenevad keskkonnanõuded ja muudetud tuleohutusnormid.

Rootsis, Växjös ehitatud 4- ja 5-korruseliste puitkarkass- elamute elanikest vastas küsimusele, kas korter puitmajas on parem kui betoonmajas, jaatavalt 80%; 10% ei leidnud sellel erinevusi olevat. 5-korruselise maja puidu kuivamisest tingitud vajumine oli esimese aasta jooksul kogu kõrguses

tena lisan ta veel projekti suurema mahu, aja puuduliku planeerimise ehituse käigus, kogemuste puudumise, eriti nende, mis on seotud ilmastikuga, ja ranged tulekaitsenõuded.

Puitmaja hinna alandamiseks on vaja standardseid lahendusi ja industrialiseerimist. Siinkohal on heaks näiteks üks natuke omapärase konstruktsiooniga puidust korrusmaja Montreux' lähedal Vevey's.

5-korruselise maja on ehitatud massiivsetest puitbetoon-komposiitplaatidest.

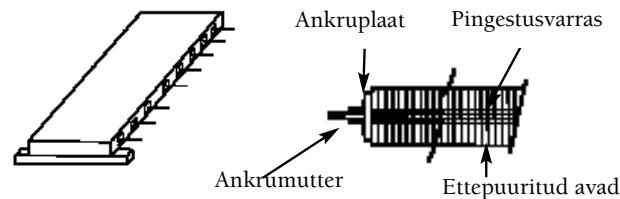
Hoone kandeseinte sisemine ja välimine kiht koosnevad nael- lamellplaatidest, milles lamellid on omavahel naeltega ühendatud. Puitplaatide vahe on täidetud betooniga. Samuti on vahelaed nael-lamellplaatidest. Tulekaitse nõuetest lähtuvalt on hoone trepikojad ehitatud täisbetoonist.

Tänavapoolses küljes on puithoonest väljapoole ehitatud betoonist ja armeeritud klaasist kaitsesein, mis moodustab umbes 3 m laiuse ilma vahelagedeta sisekoridori läbi 5 korruse. Puit on tänu täiendavale välisseinale küll otseselt ilmastiku eest kaitstud, ent kui palju topeltsein maja hindu tõstab, selle kohta andmed puuduvad. Hoovipoolne välissein ning otsaseinad on kaetud laudvoodriga. Analoogete vertikaalselt nael-lamellplaatidega hooneid on professor J. Nattereri juhtimisel konstruee-

kokku ainult 30 mm.

S. Thelandersson töi uurin- gute tulevikusuundadena esile paremat akustilist lahendust, sõlmede lihtsustamist ning tulekindluse kergemat saavutamist.

Tomi Toratti (VTT, Soome) töi oma maa kogemustest vas-



Pingelamellplaat

tukaaluks pessimistlikuid näiteid. Uuritud puitmajade hind kujunes kivimaja omast kulukama vahelae arvelt (et tagada hea heliisolatsioon) mõnevõrra kallimaks, kuigi välissein on odavam. Puitkarkassi puudus-

ritud mitmeid.

Palju oli konverentsil juttu erinevate puiduliikide kasutuselevõtmisest ja puidu tugevuse määramisest mittepurustava meetodiga. Tugevuse määramiseks tehakse tavaliselt pain-

dekats, mille käigus surutakse tala puruks. Nüüd katsetatakse aga meetodeid, mis lubaksid lihtsamalt toime tulla. Näiteks ultralühilainega puidu struktuuri uurimine. Mitmed esinjad rõhutasid, et selle meetodiga määratud elastsusmoodulid langevad purustava meetodi

de uurimisel, et vastupidavuselt järgneb kivile just puit ning alles seejärel teras. Kõige vähem kestab raudbetoon. Võrdluse aluseks oli materjalide pikaajalise ning lühiajalise koormuse kandevõimete suhe.

Konverentsil räägiti üllatavalt vähe puidu biodegradeeru-

samise teel tugevdada, mida liimpuidu puhul on lihtne teha. Ehitist demonteerida ei olnud seekord vaja.

Ühte – samuti prantslaste – projekti tahaks põhjalikumalt tutvustada.

Kui teraskonstruksioonide võimalusi sümboliseerib Eiffeli torn, siis puitkonstruktsioonide võimaluste demonteerimiseks katsevad prantslased Pariisi kesklinna ehitada 200 m kõrguse puidust Maailmatorni (The Tower of Earth). Tööga plaanistatakse lõpule jõuda aastaks 2000*.

Ehitise arhitekt on Nicolas Normier, konstruktsiooniinsener Dominique Calvi. Arhitekti eesmärk selle sedöövri juures on puidu omaduste maksimaalne kasutamine. Kui Eiffeli torn on tööstuse arengu sümbol, siis puidust torn peaks

baar, samuti showruum linna vaatamiseks ja multimeedia stuudiod.

Rajatise kõiki parameetreid ei ole veel avalikkuse ette toodud. Torni põhikarkass tugineb 8 puitpostile, mis on ühendatud ruumilise metallsidemetest sõrestikuga. Põhipost omakorda koosneb neljast veerandringikujulise ristlõikega postist, mis on kokku pandud metallplaadi abil. Torni läbimõõt on allosas 18 ning ülalpool kokpitti 9 meetrit. Posti jätkud on umbes 27 m tagant. Torni tipus asub 63 m lai ja 45 m kõrge (Triumfikaare suurune) metallist lilleõis. Kokpiti konstruktsioonid toetuvad neljale 15 m pikkusele konsoolsele sõrestikule. Kokpiti kõrgusele ehitatakse samuti spiraalsele käigutee, kus külastajad saavad teha väga atraktiivseid jalutuskäike. Kokpiti kohale ja torni tippu monteeritakse vibratsiooni summutajad. Arvutustest need paraku puuduvad.

Liimpuitpostid on kaetud tammepuust spooniga, mida tuleb paarikümne aasta tagant vahetada.

Torni mass on 4600 tonni. Maksimaalsed arvutuslikud jõud puitpostides – 37 000 kN survet ja 25 000 kN tõmmet. Puit torni eri kõrgustesse on valitud vastavalt tekkivatele pingetele: Douglase kuusk, Šoti mänd, tamm ning armeeritud puit.

Maailmatorni eluiga on 350 aastat. See eeldab ka materjalide väsimuse ranget arvestamist. See hiidehitis näitab, et puit pakub võimalusi, milleni kunagi varem pole jõutud.

* Toimetuselst

Ajal, mil käesolev artikkel trükkis läks, otsustati puidust Maailmatorni ehitus edasi lükata. Põhjendus – liiga kallis. Kas projekt jääbki kalevi alla, näitab aeg.



✚ Hoone põhikandeseinad on puit-betoon-puitplaadid.

✚ Tänavapoolne sein on ilmastiku eest kaitstud.

kasutamisel saadud tulemustega kokku.

Meie ehituses kasutatav puit vastab enamuses tugevusklassi C22 parameetritele (number näitab normatiivset paindetugevust MPa), Hollandi lehise tugevusklassiks, näiteks, on saadud C40 ja Austraalia lehtpuidul isegi D50... D70. Tšehhide uurimuse kohaselt on nende puit raskem, kui annab Eurocode 5. Näiteks puidu C24 tihedus on 364 kg/m³ (Eurocode's 350 kg/m³).

Alpo Ranta-Maunus Soome VTT-st tõi esile väikese läbimõõduga ümarpuidu kasutamise efekti. Sama suure ristlõike korral on ümarpuidu tugevus ristkülikukujulisest kõrgem. Soomes katsetatud 8 cm läbimõõduga ümarpuidust elementid andsid normatiivseks paindetugevuseks $f_{m,k} = 49$ MPa. Väikse läbimõõduga ümarpuitu võiks tänu odavusele kasutada ka näiteks meie maaehtituses.

Jaapanlased (Y. Mishina) leidsid erinevate sillamaterjali-



misest ja puidu kaitsest.

Näitena sellest, et vigu tuleb ette ka suurte rajatiste projekteerimisel, võib tuua Utopia halli Lissaboni maailmanäituselt. Seal on kasutatud kuni 115-meetrise avaga liimpuitkaarsõrestikke. Kui prantslaste ehitatud halli esimesed fermid olid juba monteeritud, selgus naagelühenduste laboratoorsel katsetamisel, et sõlm ei ole piisava tugevusega. Reaalsuures keha tõmbekatse näitas, et purunemine toimus poole koormuse juures. Ehitus pandi ajutiselt seisma. Seejärel otsustati ühendusi naaglite ja vastavate sissefreesitud plaatide li-

märkima inimkonna ja looduse suhet ning lugupidamist ökoloogia vastu.

See on esimene element tuleviku ökoloogilises linnasüdamis. Projekti rahastatakse erafondidest. Suur on ka UNESCO ning WWF toetus. Tornis hakatakse korraldama näitusi ning välja andma nn Maa preemiast keskkonnakaitselise tugevuse eest. 100 m kõrgusel asuv klaasitud (või isegi avatud) väljaehitus (kokpiti) 4000 m² suurusel alal võtab ühekorraga vastu 900 külastajat, kes pääsevad sinna panoraamliftiga või mööda spiraaltrepp. Ka selles puittornis on restoran ja

