

Pretisci iz graditeljskog tiska

VIESTI DRUŽTVA INŽINIRA I ARHITEKTA XVII. (1896), 4, 49-54 i 5, 60-66 + 1 nacrt

Prof. dr. sc. **Dražen Aničić**, dipl. ing. građ. redoviti član Akademije tehničkih znanosti Hrvatske

MOSTOVI OD BETONA

(M. Ursiny)

*Nakon povijesnog prikaza uporabe betona od rimskih vremena do danas, autor ističe prednosti **umjetnog portlanskog cementa** nad prirodnim cementima. Navodi više građevina izvedenih betonom te prve **znamenite** željezničke mostove izgrađene u Dresdenu. Ocjenjuje da će betonski svođeni mostovi postati **pogibeljni takmac** kamenim i željeznim mostovima. Njihova je prednost što se pri proračunu nosivosti može računati s vlačnom čvrstoćom betona, do desetine tlačne čvrstoće, što kod kamenih mostova nije moguće. Stoga će presjeci betonskih mostova biti manjih dimenzija od kamenih. Vlačna naprezanja (**natezanja**) mogu se preuzeti i **željeznimi uložkama**, iako ih je bolje upotrebljavati samo u zgradama gdje imaju **sjajnu budućnost**. Kod mostova bi ih trebalo izbjegavati zbog opasnosti od korozije i vlage koja kroz pukotine prodire u beton. U nastavku prikazuje se cjeloviti statički proračun betonskoga svođenog mosta raspona 13 m, rad autora članka, **riešenje provedeno na temelju znanstveno ustanovljene teorije obluka** ... s ciljem da se **može njim i drugi poslužiti**.*

CONCRETE BRIDGES

(M. Ursiny)

*After presenting background information about the use of concrete since Roman times to our age, the author emphasizes advantages of the **artificial Portland cement** in comparison with natural cements. He cites several structures built in concrete, and mentions first **significant** railway bridges built in Dresden. It is estimated that vaulted concrete bridges will become a **fatal competitor** to stone and steel bridges. Their advantage is in that the tensile strength of concrete (up to one tenth of the compressive strength) can be taken into account in load bearing capacity calculations, while this is not possible in case of masonry bridges. Thus cross sections of concrete bridges are smaller when compared to stone bridges. Tensile stresses (**tensions**) may also be assumed with **steel inserts** although their use should preferably be restricted to buildings where they will have a **bright future**. In case of bridges, they should be avoided because of problems such as corrosion and moisture which penetrates into concrete via cracks. The article continues with presentation of the entire structural analysis for a vaulted concrete bridge 13 m in span, prepared by the author of the article, and offering **solution based on theoretical research in the field of arches** ... so that it can also be **used by others**.*

VIESTI

DRUŽTVA INŽINIRA I ARHITEKTA

U HRVATSKOJ I SLAVONIJI.

U Zagrebu dne 13. lipnja 1896.

Mostovi od betona.

Piše gradski inženir M. Ursiny.

Uporaba betona, kao konstruktivnoga sredstva kod gradjevina je prastara. Tako se je već za Plivija i Vitruvija rabio beton za temelje kod raznih gradjevina a zvali su takove temelje „digninum opus“. Kasnije se je uporaba betona progleda i na ine gradjevine naročito na ceste i mostove.

Ondašnji svietu gospodujući Rim rado je uživao toga gradiva, da sebi trajnimi gradjevinami osjigura moć i vlast nad pokorenimi narodi.

O izvrstnosti betona kod gradnje cesta najbolje svjedoče ostanci starih rimskih cesta tako na pr. Via Appia u Rimu, ceste u Troviru, Strassburgu, Ljubljani i t. d.

Nemanje trajnimi pokazale su se i ine gradjevine starih Rimljana izvedene od betona kao: kanali, vodovodi i t. d. na pr. glasoviti vodovod „Pont du Gard“ u Nimesu u južnoj Francezkoj sagrađeni god. 60—13 pr. Krista po slavnom vojskovođi M. O. Agrippi.

Nu i kod visokih gradjevina rabljen je često beton a to opet najviše kod svodova. Tako je na pr. izveden križni svod u kupkai Diokleciana u svjetlosti od 23·5 m., kupula Pantheonu u promjeru od 42 m. i t. d. Dakako da nije onda rabljeni beton iste vrsti kao sadanji, naročito nije bio složen iz danas poznatih umjetnih cementa i to puzzolanske i santorinske zemlje.

Da se je kasnije beton manje rabio kod gradjevina, može se tim tumačiti, što je poslije propasti rimske države podjednako propalo i rimsko graditeljstvo.

Dakako nalazimo i kasnije razne gradjevine od betona i to u Italiji, Francezkoj i Englezkoj uporabom naravnih cementa ponajviše medinske zemlje. Ta zemlja rabljena je osobito početkom i u polovici 19 stoljeća a to u prvom redu kod velikih vodogradjevina kao u Napulju, Genovi, Mlecih, Marseillu, Cherbourgu i t. d.

U sgradarstvu rabljen bje beton ne samo za svodove već i kod gradnje stanovnih sgrada tako na pr. na otoku Wightu i Bologni. Veći razvoj gradnja od betona nastao je nakon izumljenja umjetnih cementa, romanskoga i portlandskoga, prvi koncem 18. a potonji početkom 19. vieka.

Naravni cementi, kao zemlja purrolanska, santorinska, medinska, trass i t. d., ustupili su polaganu mjesto umjetnim, naročito cementu portlandskomu, održavši se samo ondje, gdje svojom jeftinoćom nadkriluju dobra svojstva umjetnih cementa.

Tako su se naravni cementi održali na obalah sredozemnoga i jadranskoga mora i na Rajni.

Najbolji cement proizvodjale je na početku Englezka, za njom Francezka a kasnije Njemačka i Austrija.

U istoj mjeri, kako je raslo proizvodjanje cementa, rasla je i uporaba cementa za najraznije svrhe pa se je time promienio i način njegove priprave. Dočim se je prije pripravljao

beton u više tekućom stanju, prešlo se je sada na uporabu s bijenoga betona u vlažnom (erdfeucht) stanju.

Tu su se sada iz sbijenoga betona izvadiale vodogradjevine, razni temelji, svodovi, podporni zidovi, sprema za plin i tekućine. kanali, stanovne sgrade, ornamenti, stube i t. d.

Najveću je uporabu postigao sbijeni beton u Englezkoj, gdje su se od betona izvadiale 4 do 5 spratova visoke kuće. U Francezkoj bio je Coignet u St. Denisu kraj Pariza, koji je prvi od betona zvanoga „beton aggloméré systém Coignet“ te složenoga od portlandskoga cementa, hidrauličkoga vapna i krupnoga potočnoga kremenoga pieska sagrađio cijeli niz ogromnih sgrada.

Od istoga betona sagrađio je Coignet takodjer jedan dio pariških kanala.

U Njemačkoj gradjene su stanovne kuće od betona početkom god. 1870. nu nije se taj način gradnje znatnije razširio. Za to se je tamo mnogo više razširila uporaba betona kod gradnja vodo- i plinosprema, kod obalnih gradnja, kod presvodjenja potoka, kod temelja za strojeve i ine.

U Austriju prešla je uporaba betona najviše iz Njemačke.

Prva oveća i znamenita gradnja od betona bila je kod nas splavnica (Schleusse) na kanalu Franje Josipa izvedena god. 1894 po inžiru Mihaliku na duljinu od 1000 m. i širinu od 9 m. Po mnenju Beckora bila je to prva splavnica od betona u cijeloj Evropi.

Od mostova, vodovoda i sličnih gradjevina betonskih, valja napomenuti mostove od betona u Švajcarskoj i južnoj Francezkoj (u Grenoblu). Znamenita gradnja od betonu je takodjer pariški vodovod, dovadjajući kanalom od 200 m. promjera vrešku vodu iz Val de Vane u Pariz.

Od ukupne duljine toga vodovoda do 173 km. sagrađenoga oko god. 1870., odpada na 17 klm. na viadukte i mostove od kojih nekoji naročito blizu Pariza mjere 12—16 m. visine i 20—35 m. svjetlosti.

Akoprem u ono doba, kada su se te gradjevine izvadiale, nije bilo još točno poznato sastavljenje i ugradba betona niti svrsi odgovarajuće proračunavanja dimenzija sastava, ipak su se te gradjevine izvrstnimi pokazale.

Danas pako, kada nama stoji na raspolaganje veliki broj praktičkih pokusa i bogata iskustva, nadalje gdje su nama potanko poznata svojstva betona i način njegove ugradbe te gdje nam je omogućeno, da kod takovih gradjevina možemo sasama racionalnim skoro znanstvenim načinom postupati, — a ne kao prije samo empiričkim — to možemo pouzdano beten rabiti kod svih skoro zidanih gradjevina.

Naročito kod mostogradnja nije zahvalnijega gradiva od betona te nije dvojbe, da će koli starovieki monumentalni mostovi

od kamena, toli i moderni od željeza naći u mostu od betona pogibalnog takmaca.

Već razmjerna jeftinoća mosta od betona, naročito tamo, gdje se za izvedenje takova mosta na licu mjesta nalazi za pravljenje betona potrebito gradivo, zatim brza provedba, koja samo na kratko vrieme zaustavlja komunikaciju, a konačno lahko izvedenje radnje i za najtežijih okolnosti za kojih bi kod izvedenja mosta od kamona ili željeza nastale znatne poteškoće, osiguravaju mostu od betona sjajnu budućnost.

U tom potonjem pogledu znamenita su dva mosta od betona izvedena prije nekoliko godina kod gradnje novoga kolodvora za sastavljanje vlakova i za terete u Draždjanih.*

To su željeznički mostovi za željeznicu prvog razreda, koja sječe dielom cestu zvanu Flügelvog i potok Bistricu (Weisseritz). Oba su mosta kosa (60° — 70°), a prvi od njih u padu (1:29). Oblik svoda je parabolički obluk. Most preko Flügelwega imade svjetlost 17 m. 9.8 m. svjetle visine; debljina svoda iznosi u zaglavku 1—1.05 m., a na upornjacih 3.5—3.65 m. Najveći tlak u zaglavku je 12.7 kg. na 1 cm.², a na upornjacih 11.4 kg. na 1 cm.².

Kubični sadržaj iznosi 4000 m³ betona, gradnja trajala je 12 tjedana, a stajalo je bez zemljoradnja 108.000 maraka. Most na Bistrici imado svjetlost 18 m. 12.1 m. svjetle visine, debljina na zaglavku iznosi 1.05 m., a na upornjacih 4.05 m. najveći tlak u zaglavku bio je 17 kg. na 1 cm.², a na upornjacih 10 kg. na 1 cm.².

Kubični sadržaj iznosio je 6000 m³ betona, gradnja je trajala 14 tjedana, a stajala 167.000 maraka.

Projekti mostova od betona bili su u ovom slučaju najjeftiniji. Da gradnja mostova od betona u našoj monarhiji tako polagano napreduje, treba u prvom redu tomu uzrok tražiti u nekome ničim neopravdanom sumnjičenju napram gradjevinam do betona, (tako se napr. u Ugarskoj dopuštaju mostovi od betona samo kod sekundarnih željeznica i to samo do svjetlosti od 2.0 m.), a to sumnjičenje podkripljeno bijaše nekojimi pogriješno projektiranimi i izvedenim sastavi.

Glede potonjeg razloga valja navesti poznatu okolnost, da je čvrstoća betona više ovisna od količine i kakvoće upotrebljenoga pieska, nego li od kakvoće dotičnoga cementa.

Po pokusih Suchiera** leži čvrstoća potezanja morta od od portlandskoga cementa iz 3 diela (polag težine) pieska nakon 28 dnevnoga skrtnoća izmed 8 kg. i 29 kg. na 1 cm.² i to prama tomu, kakova je oblika (oštrobridnoga, oblog i t. d.) i kakove veličine (do veličine graška) bio upotrebljeni piesak.

I kod jednog pieska diže se ili pada čvrstoća betona, akoprem ne u istom razmjeru — kako ćemo dalje viditi sa količinom (polag težine) u njemu sadržanog cementa, koji se ravna prama svrhi, kojoj imade sastav od betona služiti.

Tako može biti na pr. beton za sastave visokih gradnja u znatnoj mjeri mršaviji nego li za sastave mostova a ovdje opet mršaviji za stupove i upornjake nego li za svodove.

Na sve to treba točno paziti, ako ćemo postignuti sve prednosti, koje nama uporaba betona pruža.

Osim toga nebi se imalo kod nijedne oveće gradnje od betona, koja imade podnieti stanovito naprezanje, sa izvedenjem prije odpočeti, dok nisu sa gradivom, kojeg se za beton imade upotrebiti, preduzeti bili pokusi na natezanje a prama potrebi i na tlak.

Prama posljedku tih pokusa imade se ustanoviti razmjer mješanja.

Nadalje nesmiye se zaboraviti, da i priprava betonu imade ogroman upliv na kakvoću sastava.

U tom se je pogledu mnogo grišilo, a grišie se i danas.

* Vidi; Magyar mérnök és építő szegylet közlönye, 1893. br. 1.

** Der Portlandcement und seine Anwendung im Bauwesen Berlin, 1892.

Prije se je to događalo radi pomanjkanja poznavanja svojstva, praktičnih, pokusa i teoretičkoga znanja, danas se to događja opet najviše iz površnosti i nemarnosti te je stoga glavnim uvjetom valjanoga izvedenja gradjevina od betona samo pouzdan i savjestan nadzor. Dalnja zaprieka slaboga razvoja gradnje mostoga od betona je i taj, što se nije još dovoljna jeftinoća kod dosadanjih takovih gradjevina iztaknula.

Razlog tomu je, što su gradjevine često izvadljane uz vrlo nezgodne okolnosti (togotna i skupa doprema pieska ili gruha), zatim što nije bio beton racionalno proizvođen (tako se kod nus predmiova, da je omjer cementa napram piesku i gruhu 1:10 skrajniji, dočim u Englezkoj i Njemačkoj ide se do omjera 1:14 (prije navedena dva mosta u Draždjanih imala su omjer 1:14 za svodove, a 1:10 za stupove), konačno što se nije čvrstoća betona kod dosadanjih mostovih od betona dovoljno izrabila.

Dosada proračunavaju se debljine svoda od betona većim dielom po teoriji svodova mostova od kamena, a to dielom s toga, što dosada nije dovoljno teoretički opravdan način statističkoga proračunavanja za mostove od betona a dielom radi napomenute sumnje napram tim gradjevinam, te se najviše dopušta, da se tim načinom proračunate omjere obale za 10—20%. Jasno je, da taj postupak nije izpravan.

Teorija jednolikoga obluka od betona približava se više teoriji pruživoga obluka nego li teoriji svoda od kamena.

Poznato je, da se predpoložu svodovi od kamona kao posvema nepruživi a kod riešenja takovih svodova je temeljnim uvjetom, da u svodu od kamena sa sljubnicama nesmiye nigdje zavladati ili se pojaviti natezanje

Tome nije tako kod svodova od betona, jer mnogo pokusa i promatranja dokazuju, da su sastavi od betona dosta pruživi. Navadjamo samo tu okolnost, da dimnjaci tvornica od betona na visinu od 36—38 m. od jednoga komada, mogu bez pogibelji podnieti dosta veliko nihanje prouzročeno vjetroim.

Veoma poučni i vrijedni su u tom smjeru po austrijskom društvu inžinira i arhitekta proizduzti pokusi sadržani u časopisu toga društva.*

S toga nemože se tvrditi, da sastavi od betona, dakle i mostovi od betona nebi podnieli i natezanje i da s toga mogu biti manjih dimenzija nego li sastavi ili mostovi od kamena.

Jeli omjer portlandskoga cementa napram piesku i gruhu (polag voluma) 1:2:4 iznosi čvrstoća tlaka dotičnoga betona poslje 28 dnevnoga skrtnoća 180 kg. na 1 cm.²

za omjer 1:3:	6	140	"	"	"
"	1:4:	8	120	"	"
"	1:5:	10	95	"	"
"	1:6:	12	80	"	"

Iz navedenih brojeva vidimo znatne razlike čvrstoće betona uslied raznoga omjera mješanja (od 80 do 180 kg.) nu podjedno se vidi, da čvrstoća betona neraste u upravnom razmjeru sa količinom u njemu sadržavanoga cementa, već znatno polaganije.

Sravnilo li skrajnje medje mješanja, nadjemo, da je razmjer količine cementa 1:3, razmjer čvrstoće pako samo 1:2.25.

Predpoložie li se za tlak četverostruka sigurnost, mogu se sastavi od betona naprezati na tlak 20—45 kg. na 1 cm.² Dozvoljeno naprezanje za natezanje uzimlje se približno kao deseti dio dozvoljenoga naprezanja na tlak, ili u ovom slučaju 2—4.5 kg. na 1 cm.² kod četrdeseterostruko sigurnosti.

Iz svega toga proizlazi, da ako bi se i svodovi od betona proračunavali po načinu svodova od kamena, dala bi se pripuštenjem natezanja u svodu njegovoga debljina znatno obaliti

* Zeitschrift der öster. Ing. u. Arch. Verein, 1895. Heft 20.

a time i troškovi mostova od betona smanjiti. Konačno treba i to napomenuti, da uporaba svodova od betona sa željeznimi uložcima znatno sprječava veću uporabu čisto od betona izvedenih svodova.

Svrha željeznih uložaka kod mostova od betona je ta, da preuzmu na se natezanje ako se u svodu pojavi, te se beton i željezo uzajamno popunjavaju, prvi preuzima tlak drugi natezanje.

Sličnim sustavom ide u prilog ta okolnost, što je medju obojima velika adhezija i da imaju (po Bouiniaeau-u) skoro jednaki koeficijent raztezanja.

O shodnosti tih sastava za gradnju mostova, premda se je već više sustava pojavilo (Monier, Melan, Wunsch i t. d.) te akoprem su u više slučajevih upotrebljeni, nije još zadnja izrečena, jer manjka dosad najglavnija stvar a to je praktično iskustvo.

Po našem nazoru imala bi se uporaba svodova od betona sa željeznimi uložcima ograničiti samo na sgrađarstvo, gdje su bezdvojbeno umjestne ter imaju tu sjajnu budućnost; dođim kod mostogradnja, gdje su svodovi izloženi škodljivomu atmosferičkomu uplivu, ne može se vjerovati u trajnost željeznih uložaka a time i u trajnost cijelog svoda, jer se ne može pomisliti, da ne bi k tim uložcima dopirala vlaga, budući nisu, premda se predpolaze podpuna nepropustljivost betona, izključene fine pukotine, koje uvijek nastaju uslid skrtnuća betona, uzdrmanja sastava od prolazećim teretnim kolima, slegavanja svoda ili pilova ili obojih istodobno. Osim toga nije prištednja na betonu tako znatna a da bi izjednačila veću cijenu željeznih uložaka.

Mostovi toga sastava imaju obilno ne samo slabe svodove već i male visine a tu su horizontalne komponente upornih tlakova na upornjake neobično velike to iziskuje s toga tako jakih upora, da prištednja na svodu nije niti dovoljna na povedanje dimenzija pilova, koje je slučajevite pisac imao često prilike kod projektiranja mostova od betona željeznimi uložcima promatrati.

Tako na pr. kod projekta mosta na Vltavi u Roztokah kod Praga proračunao je pisac, kao konstrukter pražko dioničke strojarne, za svod sa željeznimi uložcima po patentu Melana za svjetlost od 20 m. i visinu svoda 2 m. te debljinu zaglavka 0.5 m. uporni pilov 4—5.5 m. debljinu akoprem je visina njegova samo 8.2 m. iznosila. Horizontalna komponenta upornoga tlaka za 1 m. širine mosta iznosila je 58940 kg.

Mostovi od betona sa željeznimi uložcima imaju napram mostovim bez uložaka tu neporecivu probit, što iziskuje mnogo manje konstruktivne visine. S toga svuda tamo, gdje je visini manjka, poprma se rado konstrukcija sa uložcima.

Uzprkos tomu, što je dosad navodeno, ipak se mostovi od betona sve to više rabe a navesti ćemo od više njih samo tri najzanimljivija.

K ovim spada most na Westrachu u Erlachu u Virtemberškoj sgrađeni god. 1887. po građevnom savjetniku Kochu.

Temelji toga mosta su uronjeni, svjetlost iznosi 82 m. visina 4 m., debljina u zaglavku 0.5 m. a na uporah 0.7 m. Nu još nešto drugo veže našu pozornost na taj most.

Kako poznato slegnu se nizki svodovi nakon izvadjenja skele za $\frac{1}{1000}$ svoje svjetlosti, što prouzrokuje, da u svodu zavlada znatna napetost natezanja i to na petnicah na donjoj a u zaglavku na gornjoj strani svoda. Ako se slegnu i uporo svoda, što se i često događa, poveća se pomenuto natezanje još više. Nu budući je, kako jur navedeno, čvrstoća betona natezanja samo skoro deseti dio čvrstoće tlaka, postanu na mjestih fine pukotine. Akoprem to pukotine ne imaju na stabilnost svoda nikakova upliva to je dostatno, ako se nakon odstranjenja skele izsjeku te riedkim cementom zaliju, ipak izazovu kod laika sumnju u obstanak i trajnost mosta.

Da se tim pukotinam kod rečenoga mosta izbjegne, providio je Koch svod mosta na uporah i zaglavku s njekom vrsti sglobova t. j. ostavio tamo prazna mjesta izpuniv ih asfaltnimi uložcima na donjoj strani svoda 22 $\frac{1}{2}$ m. na gornjoj 15 $\frac{1}{2}$ m. debljini.

Poslje odstranjenja skele stisnule su se te ploče na 13 $\frac{1}{2}$ m. a pukotine nisu se mogle nigdje opaziti.

Istim su načinom izvedeni mostovi na Dunavu kod Rechtensteina i Munderkingena.

Prvi od njih izveden je na dva otvora sa svjetlosti od 28 m., visinom 2.5 m. a debljinom u zaglavku od 0.65 a upotrebljeno bje tu ploča od olova, koje su se nakon odstranjenja skele kada se nije više bilo bojati daljnoga slegavanja svoda izgreble a sljubnicu cementom zalilo. To je s toga učinjeno, da se doskoči škodljivomu uplivu olova, koje se u doticaju sa cementom kemečki raztvora.

Kod mosta munderkingskoga, upotrebljeno bje u zaglavku i petnicah sglobova od nada, užvanih kod oblukovih željeznih mostova. Budući je most dosta kosi, nisu sglobovi na cijelu širinu mosta t. j. 7.5 m. od jednoga komada, već svaki od njih je složen od 12 dielova dugih 0.5 m. Poslje odstranjenja skele izpunjeni su sglobovi oprezno cementom da se očuvaju od zadržanja. Svjetlost mosta je 50 m., visina 5 m., debljina na zaglavku 1.0 m. a na uporah 1.10 m. Obzirom na izbočenje uparnice svoda kod jednostranoga opterećenja, bijaše svod pojačen u desnoj i lijevoj četvrtini na 1.4 m.; neobični to slučaj.

(Svršiti će se.)



Mostovi od betona.

Piše gradski inženir M. Ursiny.

(Svršetak.)

Most od betona, kojega pogled, prosjek i podpuno grafičko rješenje ovom broju prileži, osnovan bje na rieki Brdlavki kod Přeštica u Českoj, kada je postojeći tamo drveni most postao neuporabivim. Projekt izradjen bje na molbu poduzetničke tvrdke za gradnje od betona Hříza i Rosenberg u Pragu po profesoru česke tehnike A. V. Velfiku, kod kojega je imao pisac prilike, grafičko rješenje za taj most provesti.

Grafičko rješenje provedeno bijaše po načinu rješenja za svodove od kamena i to s toga, što ne ima još posvema pouzdanoga načina za statičko promatranje svodova od betona i s toga, da se mimo ide eventualnim prigovorom dotičnih nadzornih građevnih organa.

Budući je to rješenje provedeno na temelju znanstveno ustanovljene teorije obluka, neće biti ovdje suvišno, ako ga kako je provedeno bilo podpunoma priobćimo, jer se može njim i drugi poslužiti.

Budući su se imali stari pilovi mosta upotriebiti, bila je tim dana svjetlost i širina mosta.

Potonja, kako se može iz popriečnog prosjeka razabrati, je svakako dosta malena i to samo 6 m. pa se je s toga mogao samo s jedne strane smjestiti hodnik za pješake.

Svjetlost iznosila je $l = 12.956$ m. a visina segmentovoga svoda h uzeta je približno $h = \frac{1}{4} l = 2.2$ m. te se time nivelleta mosta povisila za 1.15 m.

Debljina svoda u zaglavku ustanovljena bje polag formule od Winklera, koja se — budući imado teoretičku podlogu — najbolje daje upotriebiti za eksaktne prorađune, dođim empiričke formule od Perroneta, Dupuita, Gauthley-a i inih jesu čisto empiričke te davaju većinom prevelike vrijednosti.

Formula po Winkleru glasi:

$$t = c + \frac{r \cdot v}{k - r \cdot v} \cdot \gamma$$

gdje znači: t_0 traženu debljinu svoda u zaglavku, r polomjer spoljanje plohe (vidi lik 1.), k dozvoljenu napetost gradiva svoda na tlak u tonah na 1 m^2 , γ specifičnu težinu gradiva, v njeku visinu, koju dobijemo, ako si pomislimo nasip nad

U toj skrižaljki manjkaju dakako vrijednosti za beton, nu neće se pogriješiti, ako se uzme za $c = 0.3 \text{ m}$. a za $k = 100$ tona na 1 m^2 ili 10 kg . na 1 cm^2 kako se i obično uzimlje. Pošto je pako γ u ovom slučaju bilo $= 2200 \text{ kg}$. za 1 m^3 , to je

$$\frac{k}{\gamma} = \frac{100}{2.2} \approx 45.$$

Polumjer r spoljanje plohe svoda ustanovljen je iz poznatoga razmjera (vidi lik 2.)

$$h : \frac{l}{2} = \frac{l}{2} : (2r - h)$$

$$\text{ili } \left(\frac{l}{2}\right)^2 = (2r - h) h$$

$$\text{a s toga } 2r = \frac{l^2}{4h} + h =$$

$$\frac{12.956^2}{4 \cdot 2.2} + 2.2 = 21.2747 \text{ m.}$$

$$\text{a } r = 10.637 \text{ m.}$$

Prednavedena skrižaljka prikladna je samo za mostove sa niskim nasipom. Čim je nasip veći, tim bolje se razdičuje slučajno opterećenje na svod a tim bolje se umanjuje srazi. S toga se može za veće nasipe uzeti k a tim i $\frac{k}{\gamma}$ veće.

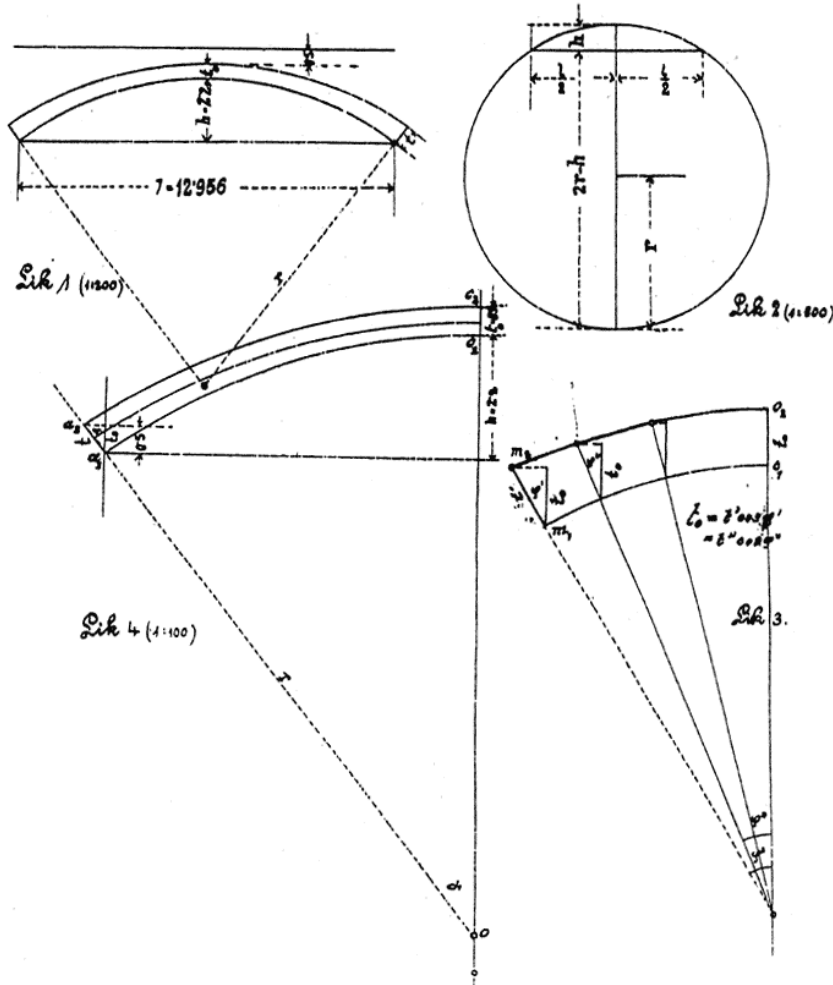
U obca može se uzeti, ako znači v' pravu visinu nasipa u mjesto $\frac{k}{\gamma}$ samo

$$0.86 \frac{k}{\gamma} \cdot 1 + \frac{v'}{5} \text{ za mostove na cestah a}$$

$$0.86 \frac{k}{\gamma} \cdot 1 + \frac{v'}{5} \text{ za mostove na željeznicah.}$$

Zadnje te dvie formule jesu samo empiričke.

Manjkajuća još vrijednost v dana je jednačbom $v = \gamma' v' + q' + q \dots 2.$



svodom, gornju gradnju mosta kao i slučajno opterećenje zamienjeno gradivom svoda a c konačnu konstantu, za koju se teoretička debljina svoda iz praktičnih obzira povećava*.

Vrijednosti c i k ustanovio je Winkler za obično kod izvedenja svodova rabljeno gradivo kako sledi:

Gradivo svoda	γ specifična težina u tonah za 1 m^3	c u metrim	Mostovi na željeznicah		Mostovi na cestah	
			k tona na 1 m^2	$\frac{k}{\gamma}$	k tona na 1 m^2	$\frac{k}{\gamma}$
Opeka	1.8	0.5	56	32	70	40
Lomljenjak	2.4	0.5	68	30	85	37
Klesanac srednje čvrstoće	2.3	0.4	74	32	92	40
Klesanac velike čvrstoće	2.6	0.3	80	32	100	45

* Teoretička debljina svoda ustanovljena je za pretpostavu, da orta rezultante pada u sredinu svoda, što se u praksi malo kada događa a osim toga ako nebi bio svod opterećen t , j. $v = 0$ dao bi nama drugi član navedene formule 0, pa s toga treba teoretičku debljinu za konstantu c povisiti.

gdje znači γ' specifičnu težinu nasipa, v' pravu njegovu visinu q' težinu gornje gradnje na 1 m^2 a q slučajno opterećenje na 1 m^2 . U ovom se slučaju spaja nasip i gornja gradnja, s toga je izpušten srednji član ($q' = 0$), γ' iznosilo je 1900 kg . na 1 m^2 , $v' = 0.5 \text{ m}$. a q uzeto je 400 kg . na 1 m^2 (kako to propis austrijskoga ministarstva trgovine od 15. rujna 1887. §. 15. za mostove na cestah II. razreda propisuje).

$$\text{Prma tomu bude } v = \frac{1900 \cdot 0.5}{2200} + \frac{400}{2200} = 0.432 + 0.182 = 0.614 \text{ m.}$$

$$\text{Sve to uvedeno u jednačbu pod 1., dađe traženu debljinu zaglavka } t_0 = 0.3 + \frac{10.637 \cdot 0.614}{45 - 10.637 - 0.614} = 49.4 \text{ ili ravno } 50 \text{ cm.}$$

Za ustanovljenje nutarnje plohe upotrebljena je formula

$$t = \frac{t_0}{\cos \varphi} \dots 3.$$

Ta je jednačba ustanovljena za pretpostavu, da se upornica i srednja crta svoda u jednu crtu spajaju i da se s toga

tlak u svakoj sljubnici jednoliko razdieljuju te sledi s toga: projekcija dobljino svoda u kojoj god točki na okomici jednaka je debljini svoda na zaglavku. Tim bi se načinom dale pronaći točke gornje krivulje svoda (vidi lik 3.).

Nu dovoljno je, ako se tim načinom ustanove debljine svoda na petnicah (lik 4.) ter isto kružnicom spoje sa zaglavkom. Za srednju krivulju svoda uzeta je takodjer kružnica koja spaja sredine debljina svoda na zaglavku sa petnicah.

Sada prelazimo na prosudjivanje, da li zadani svod odgovara slučajnomu opterećenju od 400 kg. na m².

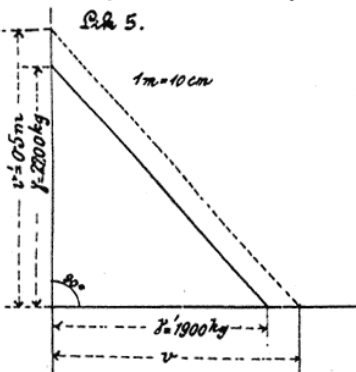
Izvadimo iz svoda jedan sloj od dubljine 1 m. a razdielimo ga sa okomitimi sljubnicama na 18 lamella, od kojih je 16 (nad svjetlosti svoda) su jednake (12:953:16 = 0.81 cm.) a dvie, koje leže nad petnicama, jesu užo a dademo svakoj lamelli opterećenje ograničeno okomicama iste.

Opterećenje je u tom slučaju troje vrsti: težina svoda, težina nasipa sa nadozidom svoda te slučajno opterećenje.

Zamienimo nasip i slučajno opterećenje slojem betona a visinu njegovu ustanovimo iz jednačbe pod 2. polag koje je i ta visina za sljubnicu zaglavka ustanovljena.

Dovoljno je visinu svake lamelle reducirati na okomici prolazećoj sredinom iste samo jedanput.

Slučajno opterećenje reducirano je na jedanput za sve lamelle a treba redukciju provesti samo za visine nasipa a to najlakše grafički kako je to u liku 5. za sljubnicu u zaglavku učinjeno.



Spojenjem svijuh tim načinom dobivenih točaka dobijemo crtu reduciranoga opterećenja za nasip a ako na istu prenesemo i visinu slučajnoga opterećenja, dobijemo medjašnu crtu celokupnoga opterećenja reduciranoga na gradivo svoda.

Kako poznato, promatra se svaki svod po dvaputa, jednom si mislimo celi svod sasma (stalnim i slučajnim teretom) opterećen a drugi put daje samo jedna polovica sasma a druga polovica samo stalno opterećena.

Uzmimo prvi slučaj naime: celi svod je podpuno opterećen.

Pošto je svod simetričan i opterećenje simetrično, treba dakle tu promatrati samo polovicu svoda i to na pr. lievü.

Pojedine težine lamella dieluju u okomica prolazećih težištem lamella i to $P_1 \dots P_9$. Veličina tereta dana je jednačbami:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= u_1 b \gamma \\ P_2 &= u_2 b \gamma \\ &\dots \\ P_8 &= u_8 b \gamma \\ P_9 &= u_9 b \gamma \end{aligned} \right\} a)$$

$u_1; u_2 \dots u_9$ znači plohe pojedinih lamella, b dubljinu sloja svoda a γ specifičnu težinu.

Pošto pako možemo pojedine lamelle smatrati za trapeze, biti će plohe prvih osam lamella:

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= a_1 y_1 \\ u_2 &= a_2 y_2 \\ &\dots \\ u_8 &= a_8 y_8 \end{aligned} \right\} b)$$

$a_1 \dots a_8$ znači širinu a $y_1 \dots y_8$ srednje visine trapeza. Pošto je pako $a_1 = a_2 = \dots = a_8 = 0.81$ m. bude

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= 0.81 y_1 \\ u_2 &= 0.81 y_2 \\ &\dots \\ u_8 &= 0.81 y_8 \end{aligned} \right\} c)$$

Dubljinu sloja svoda uzeta je $= 1$ m. a $\gamma = 2200$ kg. što daje:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= 0.81 y_1 \cdot 1 \cdot 2200 = 1782 y_1 \\ P_2 &= 0.81 y_2 \cdot 1 \cdot 2200 = 1782 y_2 \\ &\dots \\ P_8 &= 0.81 y_8 \cdot 1 \cdot 2200 = 1782 y_8 \end{aligned} \right\} d)$$

Za lamellu 9 je širina manja ili neki dio od širine ostalih lamella ili:

$$P_9 = \frac{0.81}{n} \cdot y_9 \cdot 1 \cdot 2200 = 1782 \frac{y_9}{n} \dots d')$$

Ako bi izmjerili ordinate $y_1 \dots y_9$ a vrijednosti njihove stavili u jednačbe d i d' dobili bi težinu pojedinih lamella, što za sada netreba. Pošto su težine lamella proporcionalne ordinatam $y_1 \dots y_9$, možemo težine istih zamieniti duljinami. Ove duljine prenesemo dakle kao sile na osnovu sila. Trebamo li pako prave sile — na pr kada tražimo resultantu sila za nekoju sljubnicu — treba samo duljinu iz osnove sila pomnožiti sa 1782 kg.

Pošto bi se pako prenašanjem celih ordinata $y_1 \dots y_9$ u ovom slučaju dobio odveć veliki obrazac, prenešene su samo njihove polovine.

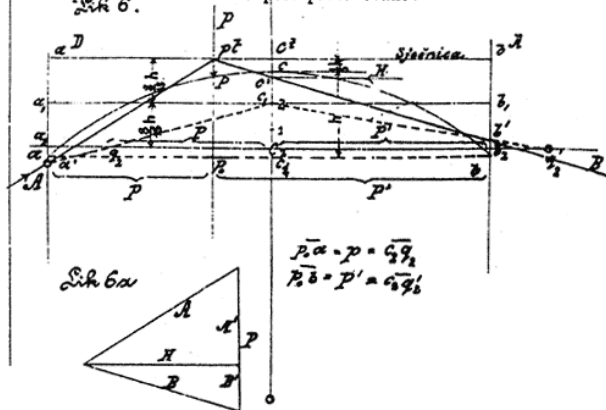
U dolnjoj polovici osnove sila na prilogu znači dakle

$$P_1 = \frac{y_1}{2}, P_2 = \frac{y_2}{2} \dots P_9 = \frac{y_9}{2n} \text{ a za mjerilo sila uzeto je dakle } 1 \text{ cm.} = 1782 \text{ kg.}$$

Kada su tereti pojedinih lamella poznati, treba ustanoviti ili reakciju ili odpor A na upornjaku, ili — što se obično čini — horizontalni smik H u zaglavku.

Za ustanovljenje njezine veličine i hvatišta smatramo svod za obluk parabolički bez sglobova, jer se nizki segment kružnice približava obluku parabole.

Je li dan parabolički obluk bez sglobova \widehat{ac} opterećeni u točki p silom P a tražimo li reakcije A i B ili njihove komponente $A' B' H$ to postupamo ovako:



Ustanovimo najprije sječnicu (Kämpferdrucklinie) t. j. crtu na kojoj se reakcije A B sa teretom P sjeku

Za nizki obluk paraboloidički je sječnica pružac $a'' b''$, uzporedna sa \bar{ab} u udaljenosti $\frac{1}{5} h$ iznad vrha obluka. Onda razdijelimo visinu obluka na 15 dijelova i prenesemo po dvaputa po 8 dijelova od sječnice dole. Prvih 8 dijelova daje pružac $\bar{a}_1 \bar{b}_1$, koji sječe težištnu crtu obluka $c_0 c'$ u c_1 koja se sudara sa drugom diobnom točkom ako h razdijelimo na 3 diela, a zovemo točku c_1 središtem smjera.

Ostalih 8 dijelova daje pružac $\bar{a}_2 \bar{b}_2$ u udaljenosti od tetive obluka $\frac{2}{15} h$ a zovemo ga pravcem smjera. Učini li se sada

$\bar{p}_0 \bar{a} = p = c_0 q_2$ a $\bar{p}_0 \bar{b} = p' = c_2 q_2'$ pa spojimo li tim ustanovljene točke q_2 i q_2' sa c_1 , to one sjeku okomice podpora u točkah a' b' čim je ustanovljen smjer reakcija A i B odgovarajući teretu P . Reakcija A prolazi točkama p' i a' a B točkama p i b' ; veličina njihova ustanovljena je u osnovi sila (lik 6a).

U istom liku ustanovljena je vodoravna komponenta t. j. H . Hvatište njezino je u c' , gdje zraka reakcije B sječe srednju okomicu, jer ako si pomislimo desnu stranu svoda odstranjenu a djelovanje iste na lijevoj strani zamijenjeno nekom rezultantom, biti će tom rezultantom reakcija B a budući je H komponenta reakcije B , mora stoga prolaziti točkom c' . Što smo u liku 6 učinili sa jedinom silom P , učinimo kod zadanog svoda sa silama $P_1 \dots P_8$ (P_n pako nema vodoravne komponente reakcije). Ustanovimo sječnicu u udaljenosti $\frac{h}{5}$ od zaglavka svoda, središte smjera c_1 u udaljenosti $\frac{2}{3} h$ od tetive obluka $a b$ i pružac smjera u udaljenosti $\frac{2}{15} h$ od iste tetive.

Za silu na pr. P_3 uzmemo u šestilo jednom udaljenost te sile od lijeve uporne okomice a prenesemo ju od srednje okomice na lijevo, po drugi put udaljenost tereta od desne uporne okomice a prenesemo ju na desno od srednje okomice.

Tim dobijemo na pravcu smjera dvie točke označene sa 3. Spojnica istih sa središtem smjera sječe dotične uporne okomice u točkah 3. Spojimo li te točke sa točkom 3. na sječnici, dobijemo smjer reakcije odgovarajući teretu P_3 a podjednako i hvatište sile H_3 .

Veličina tih sila daće se ustanoviti iz osnove sila, ako se vode uzporednice sa reakcijama do početka i svršetka opredjeljujuće ordinate sile P_3 nu mi ih vodimo do početka i svršetka srednje visine treće lamelle

Ako to učinimo sa svimi silama $P_1 - P_8$, dobijemo njihove vodoravne komponente $H_1 - H_8$. Zamienimo ih sada jedinom rezultantom H . U tu svrhu prenesemo $H_1 \dots H_8$ do osnove sila (dakako opet samo polovicu), odaberemo po volji pol 0 i ustanovimo njim crtu rezultante. Prosjekom prve i zadnje strane te crte prolazi opredjeljujuća zraka rezultante H uzporedna sa ostalimi silama $H_1 \dots H_8$. Veličina njezina opredjeljena je sbrojem $H_1 + H_2 + \dots + H_8$.

Tako ustanovljena rezultanta H spada samo polovici svoda a od celoga bude onda dvaputa tako velika.

Prenesemo li sbroj $H_1 + \dots + H_8$ na osnovu sila još jednom, to dobijemo ukupno H_{tot} i pol O_1 .

Od toga pola slažemo poznatim načinom silu H_{tot} sa ostalimi silama $P_1 \dots P_8$ čim dobijemo prelomljenu crtu svih rezultanta ili upornicu, valjanu za lijevu stranu svoda koju promatramo. Pošto je pako svod i opterećenje simetrično, to valja ista upornica i za desni dio.

Podpuno opterećenje nije za svod najpogibelnije, već ono ako je svod opterećen jednostrano t. j. kada je jedna polovica

podpuno opterećena (stalnim i slučajnim teretom) a druga kao i upornjaci svoda samo stalnim teretom*.

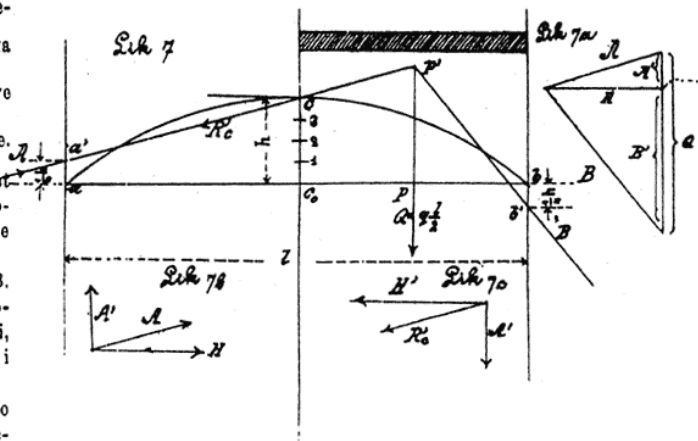
Predpolažemo onda, da je lijeva strana svoda podpuno opterećena a desna samo stalnim teretom.

Tim se doduše mienjaju unutarnje sile u svodu a promatramo li opet samo lijevu polovicu, biti će rezultanta, koja zamienjuje zaostalu desnu stranu, sasna druga glede veličine, hvatišta i glede smjera, u obće biti će to njevoja kosa sila R_c . Da nju ustanovimo, obratimo se opet na nizki paraboloidički obluk bez sglbova te predpolažemo, da je njegova desna polovica jednoliko opterećena (vidi lik 7.).

Reakciju pripadajuću opterećenju $q \frac{l}{2}$ ustanovimo ovako:

Zamienimo jednoliko opterećenje jedinim teretom $Q = q \frac{l}{2}$, razdijelimo visinu obluka $c_0 c = h$ na 4 jednaka diela, prenesimo jedan dio jedanput od a gore do a' a drugi put od b dole do b' . Lijeva reakcija A prolazi točkama a' i c , a desna opredjeljena je točkom b' i sjecištem p' tereta Q i reakcije A . Veličina reakcija A i B i njihovih komponenta A' B' H daje lik 7a. Računom dane su te veličine jednačbami:

$$\left. \begin{aligned} A' &= \frac{3}{32} q l \dots a) \\ B' &= \frac{13}{32} q l \dots b) \\ H &= \frac{q l^2}{16} h \dots c) \end{aligned} \right\} 4.$$



Kad bi sada desnu stranu obluka oduzeli te zamienili njezino djelovanje na preostali lievi dio nekom rezultantom, bio bi tom rezultantom R' , lievi tlak na upornjaku, koji je doduše sa reakcijom A jednako velik, imade s njom istu jedinu opredjeljujuću zraku, ali je protivnoga smjera ($R' = -A$). Tlak upore R' možemo opet nadoknaditi komponentami A' H' jednako velikimi sa prijašnjimi komponentami nu koje imadu sada protivni smjer (vidi lik 7b. i 7c.).

Upotrebimo to na zadani slučaj. Prije imali smo cijeli svod podpuno opterećen, sada imamo desnu polovicu samo stalno opterećenu, pa s toga oduzmemo slučajno opterećenje i to tako, da u zaglavku svoda dademo na lijevu stranu djelovati osim prije ustanovljene sile H_{tot} jošte silu protivnu, koju smo pronašli, kada je teret Q faktično djelovao t. j. pustimo dielo-

* Za pravo imalo bi se uzeti za svaku sljubnicu najpogibelnije opterećenje, koje se daće ustanoviti temeljem teorije obluka.

Pošto pako kod svodova — naročito mostova — biva stalno opterećenje mnogo veće od slučajnoga, netreba tako točno postupati već je dovoljno, ako se u obzir uzme gore navedeno jednostrano opterećenje.

vati protivnu silu napram sili R_c , tom je ali lijeva uporna reakcija A . Složenjem te silo sa silom H_{tot} , dobijemo traženu kosu silu R_c u zaglavku.

Provedemo to u sredini desne polovice svoda te pustimo dielovati jedini teret $Q = \frac{1}{2} q l = \frac{400 \cdot 13.35^*}{2} = 2670 \text{ kg}$,

onda prenesemo $\frac{1}{4} h$ od točke a na lijevoj upornoj okomici gore a od točke b na desnoj upornoj okomici dole; tim su prama prije rečenomu ustanovljene opredjeljujuće zrake upornih tlakova R'_c (lieve), R'_b (desne). Sada narišemo osnovu sila za silu Q R'_c i R'_b . Radi olakšanja daljnega postupka sastavimo tu osnovu kako sliedi.

Izračunamo iz jednačba 4a) i 4c) komponente A' i H' upornoga tlaka R'_c to bude:

$$\text{polag 4a) } \dots A' = \frac{3 q l}{32} = \frac{3 \cdot 400 \cdot 13.35}{32} = 500 \text{ kg.}$$

$$\text{polag 4c) } \dots H' = \frac{q l^2}{16 h} = \frac{400 \cdot 13.35^2}{16 \cdot 2.2} = 2025 \text{ kg.}$$

Polag lika 7c dieluje H' lijevo a A' dole. Prenesemo dakle u osnovi sila od pola O_1 najprije lijevo $H' = 2025 \text{ kg}$. a dole $A' = 500 \text{ kg}$, čim dobijemo pol O_2 . Spojenjem pola O_1 i O_2 dobijemo veličinu upornoga tlaka R'_c , koji mora biti uzporedan sa zrakom R'_c vodjenom kroz točku c svoda.

Produljimo li još okomicu prolazeću polom O_2 i prenesemo li na nju od O_2 teret $Q = 2670$, dajo pravac, idući svršetkom sjeka Q i polom O_1 , veličinu pravoga upornoga tlaka R'_b ; i taj je pravac opet uzporedan sa pravcem R'_b u glavnom obrazcu.

Prama tomu, što je bilo već rečeno, imade se sila H_{tot} složiti sa pronadjenom reakcijom A . To smo si olakšali što je osnova sila označenim načinom sastavljena, jer ako spojimo pol O_2 sa početkom vodoravne sile H_{tot} ustanovljena je tim kosa sila R_c u zaglavku, pošto opredjeljujući odsjek sile R'_c je podjedno opredjeljujućim odsjekom sile A'' . Ako imademo veličinu i smjer R_c ustanovimo još njezino hvatište, nu pošto je R_c rezultanta sile H_{tot} i A , mora imati sa istima zajedničko sjecište. Vodimo li dakle sjecištem sile H_{tot} i A (u grafičkom rješenu u glavnom prilogu označeno sa R'_c) uzporednicu sa silom R_c iz osnove sila, sječe ista srednju okomicu svoda u stanovitoj točki, koja je hvatištem sile R_c .

Da možemo urisati crtu rezultanta ili upornicu za jednostrano opterećenje, moramo na osnovu sila prenieti težine lamelle na desnoj strani. Te težine $P'_1 \dots P'_n$ biti će za slučajno opterećenje manje, s toga $P'_1 = \frac{y'_1}{2}$ i t. d. gdje y'_1 znači srednju okomicu lamelle bez slučajnoga opterećenja. (Opredjeljuća površina ovoga opterećenja nije s toga u desnoj polovici svoda ni urisana).

Onda urišemo poznatim načinom sa polom O_2 novu upornicu, koja se, kako se od njezine lieve polovice vidi razilazi donekle od prve crte upornice, nalazeć se dielomice iznad a dielomice izpod nje.

* Za l uzeto je 13.35 m. t. j. svjetlost sredlinje crte svoda n ne svjetlost upora 12.956 m.

** Taj se postupak dade kako sliedi razjasniti. Kod podpunoga opterećenja objuh polovica svoda dieluje u zaglavku svoda vodoravna sila H_{tot} . Ako pomislimo oduzeto slučajno opterećenje desne strane moramo oduzeti i pripadajuću silu A ili njezine komponente A' i H' . Ako učinimo potonje, te jeli $O_1 = H_{tot}$ (smjer \leftarrow), prenesemo od O_1 na lijevo do O' $\dots H = O'O_1$ (smjer \rightarrow) a od O' dole do $O_2 \dots O_2O' = A'$ (smjer \downarrow) to će biti po pravilu abrajzanja odaječaka $R_c = \frac{O_2O'}{O_1O_2} + \frac{O_2O'}{O_1O_2} + \frac{O_2O'}{O_1O_2}$.

Uporni tlakovi, koje smo tim načluom dobili, označeni su $R_{a,liev}$ i $R_{b,des}$. Kod podpunoga opterećenja ustanovljen bje uporni tlak $R_{a,tot}$.

U osnovi sila i na desnoj strani glavnoga obrazca označeno je jošte, kako se ustanovi podporni tlak (R'_c) samo za stalno opterećenje cijeloga svoda.

Taj tlak upotrebimo kasnije kod statičkoga promatranja pilova.

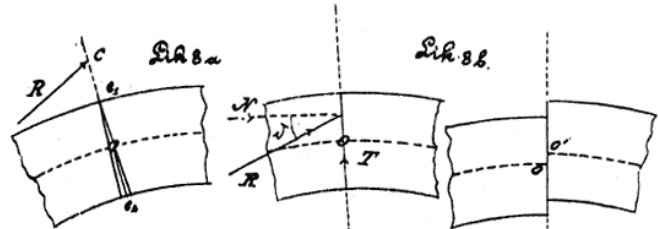
Postupak pri tom može se iz obrazca razabrati.

Kada su ustanovljene upornice za podpuno i jednostrano opterećenje svoda, može se pristupiti k promatranju njegove stabilnosti.

Poznato je, da imamo ne samo kod svodova već i kod svih sastava od kamena tri uvjeta za stabilnost i to:

1. da ne nastaje okretanje oko jednoga brida,
2. da ne nastaje posmik i
3. da se ne prekorači dozvoljeno naprezanje.

Prvi uvjet zahtjeva, da nebi hvatište c rezultante R svihuh vanjskih sila za stanovitu sljubnicu izašlo iz sljubnice, jer ako bi palo hvatište izvan sljubnice, moralo bi nastati okretanje a sljubnica bi se na protivnoj strani otvorila (vidi lik 8a).



To uvjetuje, da upornica ne smije nigdje izaći iz svoda*.

Drugi uvjet glede posmika zahtjeva, da priklon δ rezultante R napram sljubnici bude manji od kuta trvenja dotičnoga gradiva svoda; jer ako bi bio veći, nastao bi u sljubnici posmik objuh dielova (vidi lik 8b).

Taj uvjet proizlazi iz sljedećega.

Kada razložimo silu R njeke sljubnice u normalu N i u komponentu uzporednu sa sljubnicom T (vidi lik 8b), tlači prva česti sljubnice k sebi dočim ih druga T nastoji na objuh stranah sljubnice prama sebi pomaknuti.

Protiv tomu pomaknuću dieluje trvenje gradiva svoda a veličina toga odpora je:

$$F = f \cdot N \text{ ako je } f \text{ koeficient trvenja.}$$

Da ne nastaje posmik mora biti: $T < F$ ili $T < f \cdot N$ a budući je $T = R \sin \delta$ a $N = R \cos \delta$ bude $R \sin \delta < f R \cos \delta$ ili $\tan \delta < f$. Koefficient f je takodjer tangenta kuta trvenja φ ili $f = \tan \varphi$ (za male kuteve) stoga i $\tan \delta < \tan \varphi$ ili $\delta < \varphi$. Koefficient trvenja je za razno gradivo različit, tako za trvenje kamena o kamen je $f = \frac{1}{2}$ do 1 ili $\varphi = 26\frac{1}{2}^\circ$ do 45° .

Tim obima uvjetima biva obično udovoljeno, tako je i u ovom slučaju, jer crta upornice ne izlazi nigdje iz svoda a tlak je svuda skoro okomit prama sljubnicam, dakako ne okomitim već faktičnim radialnim.

Treći uvjet stabilnosti u pogledu čvrstoće zahtjeva, da nebi najveće naprezanje u sljubnici prekoračilo dozvoljenu među naprezanja.

Najveće naprezanje nalazi se uvijek u skrajnjih čestih prosjeka a njegova je veličina ustanovljena jednačbami:

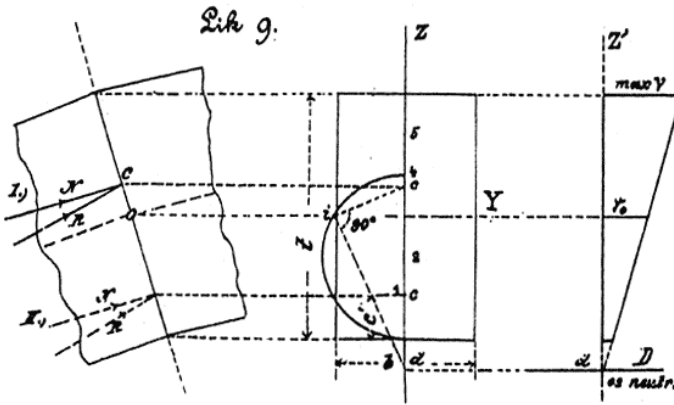
* Strogo uzeto trebalo bi kazati, da orta tlaka ne smije iz svoda izaći. Nu orta se tlaka kod svodova malo kad sastavlja a konstrukter se obično zadovoljuje sa upornicom, koja crtu tlaka približno nadomještjuje. Obzirom na taj uvjet stabilnosti treba pripomenuti, da je — kako ćemo kasnije saznati — sadržan već u uvjetu trećem i da nebi trebalo na nj obzira uzeti.

$$\max v = \frac{N}{U} \left(1 + \frac{6c}{t}\right) \dots 5a)$$

$$\max v = \frac{2N}{3bc} \dots 5b)$$

U prvoj jednačbi, koja valja ako se hvatište c rezultante R nalazi u centralnoj jezgri (Centralkern), znači (vidi lik 9 I.) N normalnu komponentu rezultante R , U površinu presjeka, t njegovu visinu a c udaljenost hvatišta od težišnog presjeka.

U potonjoj jednačbi, koja valja za slučaj, da se hvatište rezultante nalazi izvan centralne jezgre (vidi lik 9. II.) znači N istu silu, b pako širinu presjeka ($U = b t$, a obično je $b = 1$ m.) c konačno je udaljenost hvatišta rezultante od najbližnjega kraja presjeka.



Kod sastava svodova od kamena, pilova i t. d. stvara centralnu jezgru srednja trećina sljebnice. S toga se obično navadja, da će biti svod stabilan, ako upornica ili približno crta rezultanta ne izađe iz srednje trećine svoda. To nije potpunoma pravo, jer bi tim bilo rečeno, da ne smije u svodu zavladati nateg, dočim se isti može eventualno dopustiti, ako pri tom najveća napetost tlaka ne prekorači dozvoljenu medju.

Glede veličine c' treba navesti, da ako je hvatište tlaka izvan srednje trećine svoda, to odoljova samo jedna šest sljebnice vanjskim silam i to šest, koja je 3 puta tako velika kao c' . Za taj slučaj ne valja kasnije navedeni način za opredjeljenje neutralne osi.

U danom slučaju dovoljno je pronaći najveću napetost samo u dvijuh sljebnica i to u zaglavnoj sljebnici i na upornjaku.

Kod prve spadaju u jedno crte rezultante t. j. od obijuh promienljivih veličina u jednačbi 5a je c za oba slučaja opterećenja jednako, druga promienljiva N je za ukupno opterećenje veća a jednaka je $N = H_{tot} = 31350$ kg. (mjerena na mjerilu sila), c iznosi 4.7 cm. $b = 100$ cm., $t = 50$ cm. Pošto je hvatište tlaka u centralnoj jezgri ili u srednoj trećini, ustanovi se najveći tlak iz jednačbe 5a)

$$\text{i to } \max v = \frac{31350}{100 \cdot 50} \left(1 + \frac{6 \cdot 4.7}{50}\right) = 98 \text{ kg. na } 1 \text{ cm}^2.$$

Za sljebnicu na upornjaku treba uvažiti jednostrano opterećenje, jer ako bi i bila rezultanta R_a' manja od R_a^{tot} , ipak se više udaljuje od težišta presjeka.

Treba s toga upotrebiti jednačbu 5b) u koju treba staviti, $N = N_a' = 39500$ kg. (vidi osnovu sila), $b = 100$ cm. a $c = 20.7$ cm. s toga bude

$$\max v = \frac{2 \cdot 39500}{3 \cdot 100 \cdot 20.7} = 12.74 \text{ kg. na } 1 \text{ cm}^2.$$

S toga sledi, da se ni u jednom ni u drugom slučaju medja napetosti ne postizava, jer napetost kod betona i 10 strukurnosti iznosi 8-18 kg. na 1 m².

Zanimivo je označiti zakon, kojim se napetost mjenja, idemo li u presjeku od točke do točke ili bolje rečeno, kako se napetost mjenja u pojedinih pravcima uzporednih sa osi Y (vidi lik 9.).

To se provadja polag zakona pravca*.

Za taj pravac daje nam vod ustanovljena veličina najveće napetosti jednu točku istoga a drugi možemo ustanoviti tim, ako ustanovimo napetost u težišnoj osi ili ako ustanovimo neutralnu os Ustanovimo oboje i to prvu računom a potonju grafički. Napetost u težišnoj osi dana je jednačbami:

$$v_0 = \frac{N}{F} = \frac{N}{b t} \dots 5a')$$

ako je c u jezgri a

$$v_0 = \frac{N}{F_1} = \frac{N}{3 b c} \dots 5b')$$

ako je c izvan jezgre.

$$\text{Za zaglavnu sljebnicu bude polag } 5a') \quad v_0 = \frac{31350}{5000}$$

$$6.27 \text{ kg. na } 1 \text{ cm}^2 \text{ a za sljebnicu upornu polag } 5b') \quad v_0 = \frac{39500}{6200}$$

$$6.37 \text{ kg. na } 1 \text{ cm}^2.$$

Prenesemo li u povoljnom mjerilu (vidi lik 9. i prilog) v_0 na okomicu prolazeću težišti dotičnih presjeka, $\max v$ na okomicu iduće skrajnjom vortikalom na strani torota, dobijemo pravac, od koga nam ordinate davaju napetosti u svakoj česti presjeka. Produljimo li taj pravac dok sječe sljebnicu samu, dobijemo točku, kojom prolazi neutralna os (D , d lik 9.). Položaj neutralne osi možemo takodjer lahko grafički kako sledi ustanoviti: Razdijelimo visinu t na 6 jednakih dielova to opišemo

iz točke drugog diela polukružnicu sa polumjerom $\frac{1}{3} t$, koja sječe os Y (lik 9.) u točki i . Isti spojimo sa središtem tlaka c a na pravac $i c$ postavimo okomicu, koja sječe os Z u točki d , kojom prolazi neutralna os D . Ovom točkom i odsječkom $\max v$ dan je takodjer pravac, predstavljajući promiene napetosti.

Tim je promotrena stabilnost svoda i glede trećeg uvjeta t. j. glede sjegurne čvrstoće.

U našem slučaju trebalo je još promotriti stabilnost starih srednjih i obalnih pilova.

Glede srednjih pilova poznato je, da bude najviše opterećen, ako je jedna polovica svoda posvema opterećena a druga kao i pilov sam samo stalnim teretom opterećena. U našem slučaju predpoložemo, da je desni svod potpunoma a lievi samo stalnim teretom opterećen; prvi dieluje onda na pilov upornim tlakom R_a^{tot} a potonji sa tlakom R_p .

Pilov sa nadozidom razdieli se shodno na više dielova, ovdje na 6 a težine istih (predpoložuć opet 1 m. dubljine) $Q_1 \dots Q_6$ slažu se postepeno sa upornim tlakovi R_a^{tot} a R_p' .

Tim dobijemo za svaku donju sljebnicu svakoga diela stanovitu rezultantu, na pr. ovdje za temelj pilova rezultantu R (vidi prilog).

* Da se mjenja polag pravca, to pokazuje obćenita jednačba napetosti koja valja za svaku točku presjeka. Ta jednačba imade oblik $v = \frac{N}{U} \left(1 + \frac{6c}{t} z\right)$ gdje su N , U i c poznate veličine, i polumjer ustrajnosti obluka a z ordinata točke, od koje napetost tražimo. U toj je jednačbi samo jedna promienljiva z , ostale su za stanoviti presjek stalne, s toga daje ta jednačba pravac. Od te jednačbe dobijemo jednačbu 5a) kako sledi: Za pravokutni presjek bude:

$$J = \frac{b t^3}{12}, U = b \cdot t, i^2 = \frac{J}{U} = \frac{b t^2}{12 b t} = \frac{1}{12} t^2.$$

Stavimo li tu vrijednost u gornju jednačbu a za z udaljenost skrajnje

$$\text{česti, bude } z = \frac{t}{2} \text{ ter bude } v = \left(1 + \frac{c \cdot \frac{t}{2}}{\frac{1}{2} t^2}\right) = \frac{N}{U} \left(1 + \frac{6c}{t}\right)$$

kao tražena jednačba 5a).

Sada bi trebalo za glavnije sljubnice promatrati stabilitet i to kao kod svoda t. j. glede okretanja, glede posmika i glede čvrstoće.

Promatranje prvih dvaju uvjota može opet izostati a treba samo promatrati stabilitet glede sjegurno čvrstoće.

Obzirom na povoljan položaj poteza rezultante, koji se samo malo odklanja od težišnice pilova, dovoljno je, ako se samo ustanovi napetost u najdolnjoj sljubnici.

Budući se hvatište tlaka nalazi u centralnoj jezgri, to ćemo upotrebiti za ustanovljenje napetosti jednačbe 6a) pa bude

$$\max v = \frac{N}{U} \left(1 + \frac{6c}{t} \right) \text{ ili pošto je } N = 77000 \text{ kg.},$$

$$t = 285 \text{ cm.}, U = b \cdot t = 160 \cdot 285 = 28500 \text{ cm}^2$$

a $c = 19.5$ (uzeto iz nacrtu), bude

$$\max v = \frac{77000}{28500} \left(1 + \frac{6 \cdot 19.5}{285} \right) = 3.8 \text{ kg. na } 1 \text{ cm}^2.$$

S toga slijedi, da je srednji pilov dovoljno čvrst (U nacrtu urisan je pravac napetosti načinom kao kod svoda).

Za obalne pilove ili upornjake promatrana bje stabilita istim načinom. Glede opterećenja uzeto bje, da je pilov samo stalno a prislanjajuća se nanj polovina svoda da je podpunoma opterećena.

Na odstražni tlak nasipa nije obzir uzet, što ide samo u prilog stabilnosti pilova. Promatranjem bje pronadjeno, da prvobitno okomito omeđajenje pilova za svod nije dovoljno, već je trebalo pilove pojačati kako je to na nacrtu označeno.

Akoptrem je i onda u doljnoj sljubnici hvatište ili središte tlaka izišlo iz srednje trećine, ipak nije vrijednost najveće napetosti od 3.44 kg. na 1 cm² (računana po jednačbi 6b) dosegnula ni napetosti u temelju srednjih pilova. Tim je načinom pronadjena stabilita celoga mosta.

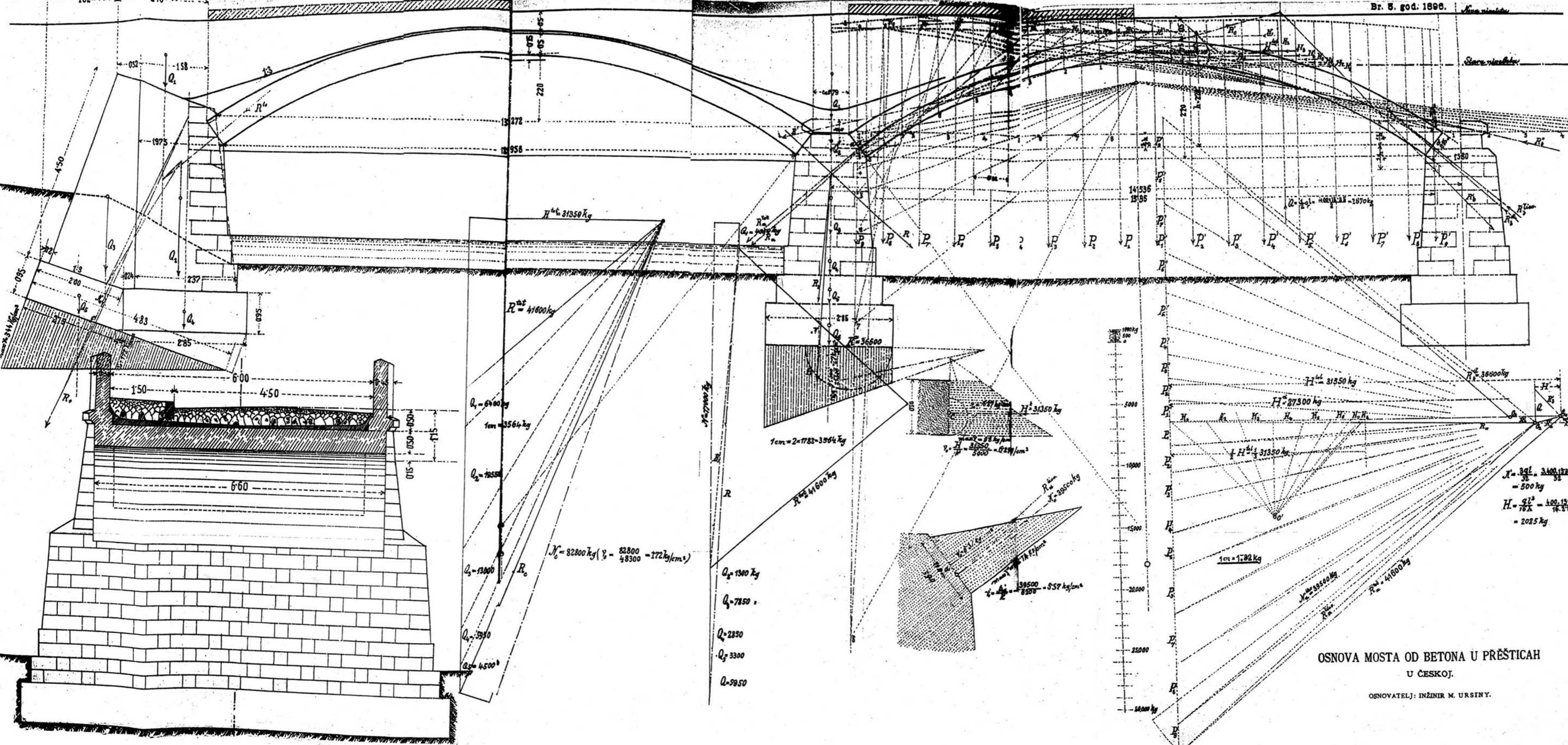
Svod istih omjera sa malo promijenjenimi uporami izvela je tvrdka Hrůza i Rosenberg prošle godine na etnografičkoj izložbi u Pragu.

Prosta širina mostu iznosila je 2.4 m, ukupna duljina 21.3 m. Sadržaj svodnoga zidja sa nadozidom iznosio je 32 m³ a ostalog 110 m³ ukupno 142 m³. Beton bijaše pravljen u sljedećih razmjerah mješanja: za uporno pilove 1:6, za nadozid pilova 1:6, za svod 1:3 a žbuka 1:3.

Pošto je opterećenje uzeto isto kao za svod prije opisana noga mosta, to je bila napetost u zaglavku i na uporah ista, samo u temelju uslijed promjene upora iznosio je najveći tlak 3.57 kg. na 1 cm².

Gradnja toga mosta trajala je 15 dana, peti dan poslje dovršenja izvadjena je skela a nije se pri tom opazilo niti slegnuće niti kakove pukotine.





OSNOVA MOSTA OD BETONA U PRÉSTICAH
U ČESKOJ.
OSNOVATELJ: INŽINIR M. URSINY.