

Meddelelser fra veidirektøren.

Nr. 22.

Erfaringsrapporter, avhandlinger m. v. trykkes paa denne maate saa ofte, som dertil er anledning.

Juni 1915.

Hvælbroer.

Indholdsfortegnelse.

	Side.
I. Dimensionering :	
Hvælbredden	3
Hvælvtykkelsen	3
Hvælvsformen	4
Dimensionskurver for hvælvtykkelsen i toppen og overmurhoiden:	
For 1 $\frac{1}{2}$ tons hjultryk	7
» 2 $\frac{1}{2}$ » —	8
» 5 » —	9
II. Udførelse :	
Tørmur	10
Brudsten i cementmørtel	11
Huggen sten med stampede mørtelfuger	14
Beton	16
Valg av hvælmur	17
Midlertidige blyled	18
Hvælvisolering	19
Overmur	19
Stilladssænkning	20
Kontrol	20

I. Dimensionering.

Hvælvbredden

forutsættes normalt = kjørebredden, og rækverket fæstes da til de noget utkragede gesimser.

Ved smaa spænd kan det være rigtigere at anvende rækverk av stabbestener med en eller flere jernrækker, og hvælvbredden blir da ~ 1 meter større end kjørebredden.

Ogsaa ved større broer kan undtagelsesvis hvælvbredden økes for anbringelse av bredere murede rækverk. Isaaafald blir altsaa belastningsbredden noget mindre end hvælvbredden, hvilket især kan faa betydning for vognbelastningens vedkommende.

Efterfølgende dimensionskurver for hvælvtykkelsen forutsætter dog overalt samme kjørebredde og hvælvbredde.

Hvælvbredden forutsættes i almindelighet ikke øket mot oplagerne. Overmuren over hvælvet blir da overalt lodret. Mindre doceringer kan i tilfælde gjøres, men vil som regel kun ha betydning for utseendet.

Hvælvtykkelsen

er beregnet efter en mobillast av 500 kg./m.^2 og for hjultryk av $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ og 5 ton.

Vognene regnes kjørt like ind til rækverket, hvilket i almindelighet gir noget over dobbelt saa store paakjendinger som for vognstilling midt paa kjørebanen. To vogner ved siden av hinanden øker derfor ikke paa kjendingerne i de mest utsatte snit ved almindelige kjørebredder.

For smaa spænd er kun regnet med 1 aksel, naar den anden reducerer paakjendingerne.

For store spænd vil flere vogner efter hverandre gi ugunstigste paakjendinger, og uagtet belastning med flere av de tungeste vogner efter hverandre som regel ikke paaregnes for vore veibroer, er dette forutsat for hvælvne av hensyn til mulig fremtidig utvikling og i betragtning av at senere forsterkninger maa ansees utelukket.

For smaa og middelstore spænd vilde man som regel faa de største hvælvtykkelser ved de høie pilforhold, forsaavidt overmurens høide over hvælvet i toppen vælges ens for de forskjellige pilforhold (dette gjælder selv naar der regnes med at de høiere pilforhold gir mindre temperaturpaakjendinger.

De høiere pilforhold gir dog langt mindre trykpaakjendinger, og det synes rigtigere at beholde samme hvælvtykkelse for samme spænd og belastning, men til gjengjæld øke overmurens høide i toppen for de høiere pilforhold.

Dette vil formentlig ikke skade utseendet; og som regel heller ikke fordyre broen.

Efterfølgende dimensionskarver gir altid samme hvælvtykkelser for samme spænd og belastning samt varierende overmurhøide efter pilforholdet for smaa og middelstore spænd. Lavere overmur og tilsvarende økede hvælvtykkelser kan ogsaa brukes for høie pilforhold; dette forutsettes særskilt beregnet for hvert tilfælde.

For store spænd hvor trykpaakjendingernes størrelse blir bestemmende for hvælvtykkelsen, og det ikke lenger gaar an at holde disse paa kjendinger tilstrækkelig nede ved reduktion av overmurshøiden i toppen og avlastningshvælv, er de flaterne broer dimensionert noget sterkere i toppen end de høiere.

Hvælvtykkelsens økning mot vederlagene forutsettes i almindelighet at foregaa efter forholdet $\frac{1}{\cos \varphi}$ saaledes, at hver fuges vertikalkomponent blir like stor over hele hvælv.

For ganske smaa spænd kan dog økningen reduceres eller sløifes; dog bør isaafald tykkelsen vælges noget større end efter kurverne. Særlig gjælder dette tørmurhvælv, hvor stor økning av tykkelsen kan falde besværlig.

For meget høie pilforhold kan ogsaa økningen av hvælvtykkelse mot vederlagene vælges noget mindre end efter forholdet $\frac{1}{\cos \varphi}$, særlig, hvor belastningerne regnes at virke noget skraat indover mot hvælv, som av denne grund faar noget raskere avbøining mot vederlagene end for kun lodrette belastninger (kfr. nedenfor under hvælvformen). Men dette forhold forutsettes isaafald særskilt beregnet i hvert tilfælde.

Hvælvformen

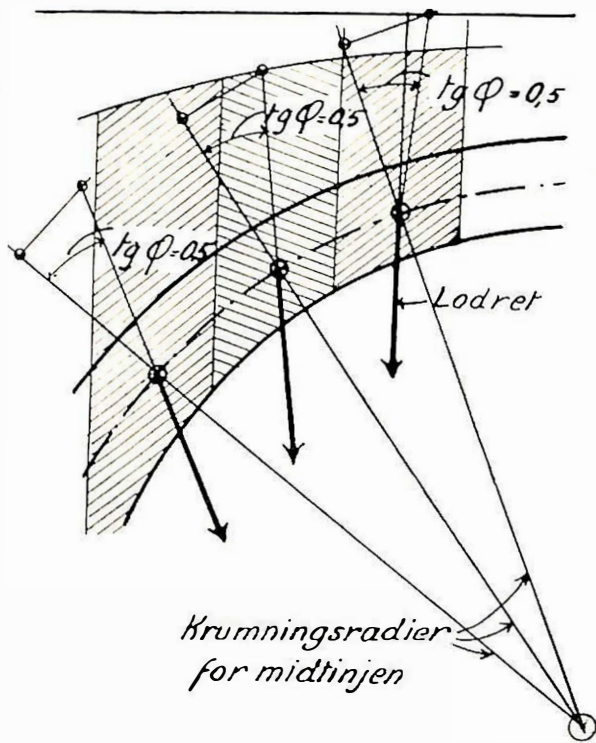
beregnes saaledes, at tryklinjen for egenvegt + $\frac{1}{2}$ mobillast kan falde sammen med midtlinjen.

Belastningerne regnes herunder virkende:

- 1) Vertikalt for de lavere pilforhold, hvor hvælvets heldningsvinkel ved kærper er mindre end $\text{tg } \varphi = 0,5$. (NB! Egentlig vil dette kun passe ved ganske lave pilforhold, men sidetrykkene vil ogsaa for litt høiere pil faa liten betydning, saa man ialfald neppe behøver at medregne sidetryk før pila er ca. $\frac{1}{6}$ av spændvidden eller noget mere.
- 2) Ved høiere pilforhold regnes vertikale belastninger paa hvælvets øverste parti og saa langt ned, at hvælvets heldningsvinkel blir, $\text{tg } \varphi = 0,5$.

Længere nedover tilsettes saa store sidekræfter til de vertikale belastninger, at resultanten danner en vinkel: $\operatorname{tg} \varphi = 0,5$ med normalen paa *hvælvelinjen*. Herunder regnes hvælvets heldning efter «*midtlinjen*» og selve hvælvvegten regnes til de vertikale komponenter.

- 3) Hvor der er avlastningshvælv paa hovedhvælv (og avlastningshvælvne er anbragt tversover og ikke langsefter hovedhvælv) medregnes ingen sidetryk fra smaa hvælvne til bestemmelse av hovedhvælvets form; men belastningerne regnes vertikalt midt i centrum av smaa pillarerne mellem avlastningshvælvne.



Forholdet mellem specifikke vegter av hvælvmur og overmur (yttermur og indfyld) kan som regel regnes = 1,2 eller man kan regne hvælv-murens specifikke vekt = $\sim 2,5$, yttermuren = $\sim 2,2$, indfylden = $\sim 1,8$, eller man kan beregne vegterne efter direkte veining av prøvestykker.

Ved store spænd, særlig naar avlastningshvælv brukes og paa den ene side trykretningen faaes sikrest mens paa den anden side hvælvet ikke faar nogen støtte av stiv overmur, bør baade de specifikke vegter regnes nøiagtig efter materialerne og alle kubikindhold til beregning av belastningerne bestemmes nøiagtig ved detaljerte beregninger.

Angaaende ovenstaaende regler for bestemmelse av sidetryk for broer uten avlastningshvælv bemerkes, at vinkelen $\operatorname{tg} \varphi = 0,5$ selvfølgelig kun er skjønsmæssig valgt og kun kan betragtes som en raa tilnærmelse. Muligens — eller rimeligvis — vil vinkelen bli mindre; den kan vel tænkes at bli betydelig mindre. Forholdet avhænger i virkeligheten ikke alene av friktionsforholdene mellem hvælv og overmur, men ogsaa væsentlig av deformationernes retninger og størrelser. Forinden dette punkt er

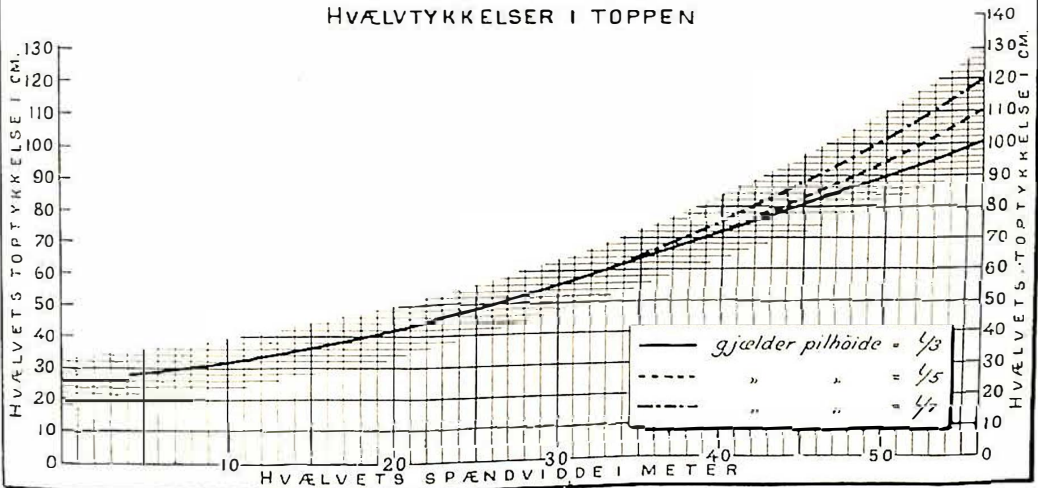
nærmere utredet — hvilket vel vil byde store vanskeligheter — er man henvist til at hjælpe sig med et mer eller mindre løst skjøn, og dette maa saa meget mere kunne benyttes, da der i virkeligheten antages at være tilstede ogsaa andre faktorer, som ialfald delvis virker betryggende. Her skal bl. a. anføres, at netop i de tilfælder, hvor usikkerheten blir størst, nemlig ved høi pil, vil overmuren bli saa stiv, at den delvis kommer til at virke som vederlag for hvælvet ved at samle trykkene under ensidig belastning fortrinsvis paa de punkter, hvor hvælvet trykker sig mest op. Dette vil utvilsomt virke gunstig til begrænsning av tryklinjens bevægelser; desuten vil overmuren, som i regelen mures uten avbrytelse et stykke ind paa vederlagerne, vel for endel komme til at bæres direkte av vederlagerne, som deformeres mindst (ved konsolvirkning). Hvor meget av de sidste vertikabelastninger der saaledes ikke kommer til at virke direkte paa hvælvet, er det naturligvis heller ikke godt at vite. Man har her en ny usikkerhet, men at nogen saadan virkning opstaar synes høist sandsynlig, og den vil virke paa hvælvformen motsat sidetrykkene, (som jo rimeligvis er sat smaa). Ogsaa dette sidste punkt vil forøvrig til en viss grad kunne tænkes at øke overmurens evne til at danne delvis vederlag for hvælvet, og det kan ikke antages rigtig at søke denne usikkerhet fjernet ved at danne en vertikal fuge over hvælvfoten.

Efter en del forsøksregninger med forskjellige sidetryk m. v. synes man at maatte kunne slaa sig tilro med ovennævnte regler indtil videre.

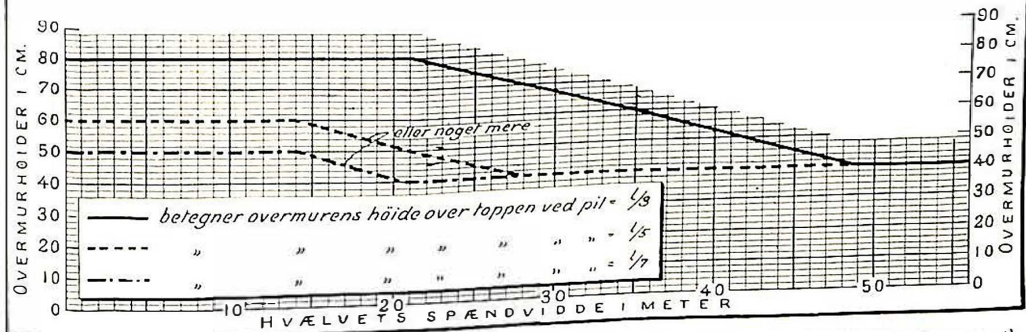
HVÆLV DIMENSIONER

FOR
 MOBILLAST = 500 $\frac{\text{KG}}{\text{M}^2}$, HJULTRYK = 1 $\frac{1}{2}$ TON

HVÆLV TYKKELSER I TOPPEN



OVERMURHØIDER OVER TOPPEN



Avlastningshvælv bruges kun ved spænd $>$ ca 40 m. (Ved høj pil trænges de ikke for ved større spænd)

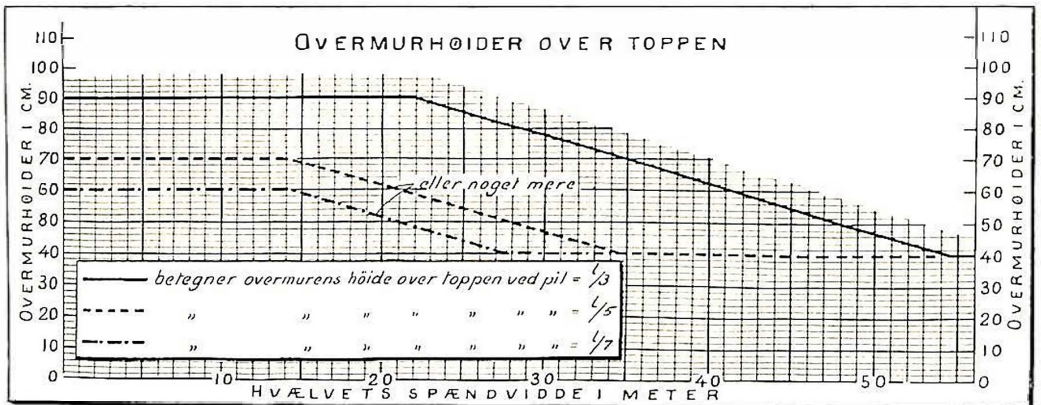
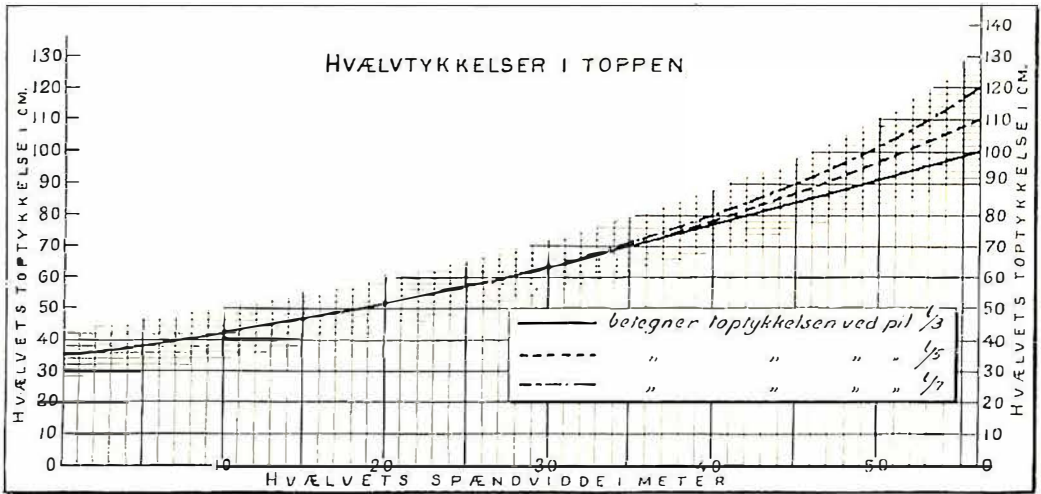
EXEMPEL 44 m. spænd og pil $\frac{1}{5}$ gir:
 toptykkelse = ~ 80 cm
 overmurhøide over toppen = 40 cm
 Avlastningshvælv kan bruges

Hvor man ved pil = $\frac{1}{5}$ ønsker at sløife midlertidige blyed (for huggen sten og stram-pede fuger) er det som regel heldig at øke overmurens høide i toppen 10 à 20 cm
 Ovenstaaende kurver bør kun bruges, hvor der ingen sansynlighed er for fremtidig trafik med mere end $1\frac{1}{2}$ ton hjultryk

HVÆLVDIMENSIONER

FOR

HJULTRYK = $2\frac{1}{2}$ TON



Avlastningshvælv bruges kun ved spænd $>$ ca 40m (ved høj pil trænges de ikke for ved større spænd)

EXEMPEL: 42m spænd og pil $\frac{1}{3}$ gir:

topptykkelse \approx 80 %m

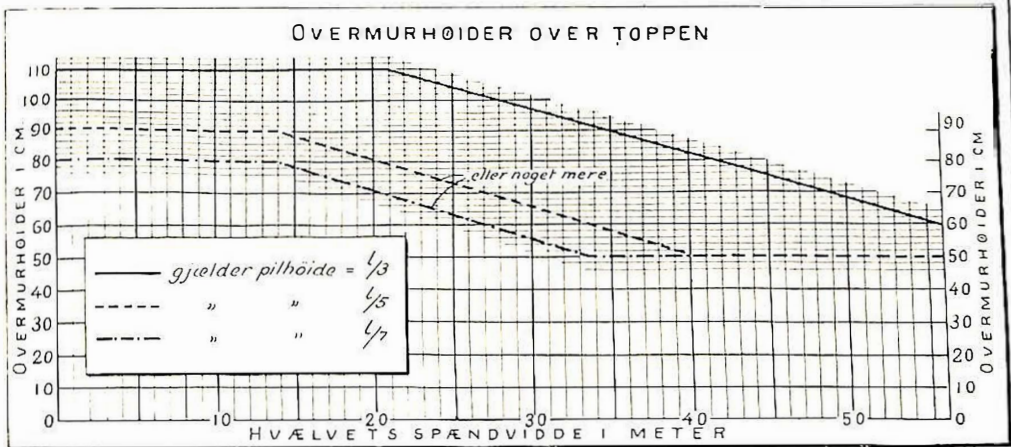
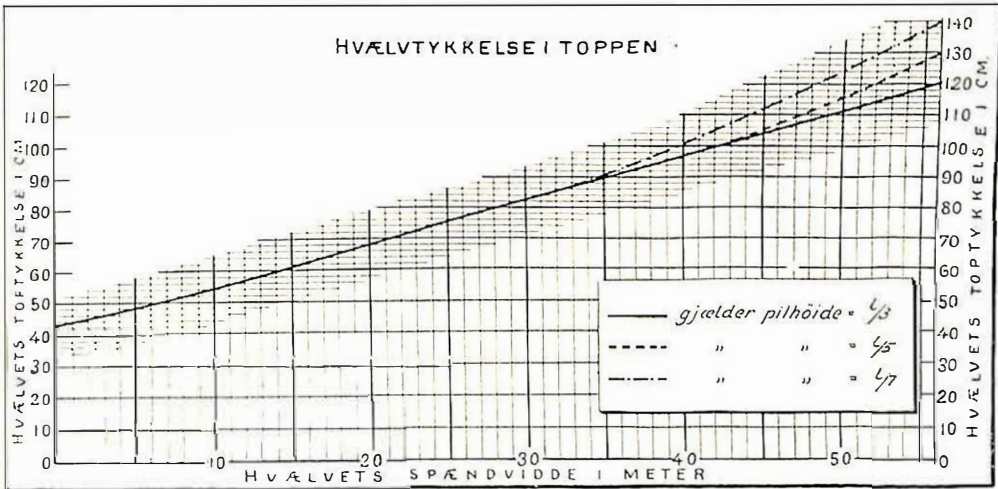
overmurhøide = 60 %m

Avlastningshvælv bør helst ikke bruges

Hvor man ved flattere pilforhold ønsker at sløife midlertidige blyled er det som regel heldig at øke overmurens høide i toppen 10 a 20 %m.

Ovenstaaende kurver bør som regel bruges til almindelige veibroer.

HVÆLVDIMENSIONER FOR HJULTRYK = 5 TON



Avlastningshvelv kun ved spænd > 4.5 m. (trænges først ved lave pilhøider)

Eksempel: 28 m spænd og pil = $\frac{1}{5}$ gir

tofttykkelse = 80 %/m

overmur = 70 " eller noget mere ~ 80 à 90 %/m hvis
blyed ønskes sløjet

Ovenstaaende kurver forudsættes kun brugt, hvor særlig tung trafik kan ventes.

II. Ulførelse.

A. Hvælmur.

1. Tørmur.

Denne bygningsmaate forutsætter god sten, som ikke er for vanskelig at bearbeide. De enkelte stener maa prikhugges kileformet efter hvælvformen. De flater, hvorigjennem hvælvtrykket overføres, bør være omtrent saa jevne som trappestene.

Paa alle andre flater bør der lægges mindst mulig arbeide, ellers blir hvælv et for dyrt.

Der bør sørges for forband over 2 og 2 sten (ikke 3 sten) i broens tverretning.

I butten tillugges stenene med sæthammer saavidt, at godt forband opnaaes og større hulrum undgaaes, særlig ved litt større spænd. Derimot sløifes finhugning, som unødig fordyrer arbeidet.

Da vandavløpet foregaar igjennem hvælv et trænges intet arbeide for at faa hvælvet overflate jevn. I almindelighet bør dog saavidt hugning eller sortering av stenene anvendes, at hvælvtykkelsen vises utvendig ved jevne linjer. Dette arbeide kan sløifes, hvis det medfører for store omkostninger paa grund av stenens vanskelige bearbeidelse.

Da der i trykflaterne altid vil være nogen ujevnhet, saa trykket ikke kommer til at overføres jevnt over hele flaten, bør stenene være saa tykke, at de ikke sprækker, selvom trykket kommer paa ugunstigste maate.

I almindelighet opnaaes dette naar stentykkelsen ikke blir mindre end ca. $\frac{1}{2}$ gang stenlængden og helst ikke under ca. 30 cm.

Selv med disse tykkelser vil det neppe undgaaes særlig ved litt større spænd at enkelte stener kan bryte, men neppe i saadan utstrækning, at forbandet væsentlig skades.

Tørmurhvælv utføres ikke med mere end en stentykkelse.

Broer av tørmur kan utføres til enhver aarstid, naar forholdene tilsteder det, og denne arbeidsmetode byder forsaavidt adgang til vinterarbeide.

Tørmurhvælv kan med fordel benyttes for spændvidder fra 2 til 15 m., naar man som nævnt har adgang til god byggesten. For spændvidder fra 10 til 15 m. maa dog pilhøiden være forholdsvis stor, hvis almindelig tørmur skal anvendes.

Jo større og flatere hvælv et er, des mere hugning og dermed høiere enhetspris maa man anvende.

For ganske smaa spænd holder erfaringsmessig raat tillugne hvælv sig godt.

2. *Brudstensmur i cementmørtel.*

Naar spændvidden overskrider ca. 15 m. vil det som regel være rigtigst at anvende mørtel. Ved tømur for større spænd maa nemlig stenene — for at kunne taale trykket uten at sprække — være meget tykke, og man maatte anvende en særlig omhyggelig og derfor kostbar planbugning i trykfugerne. Mørtelmurverk kan forøvrig ogsaa komme til anvendelse ved mindre spænd, naar brukbar tømursten ikke kan skaffes uten for store omkostninger.

Brudstenshvælv vil kunne benyttes til ca. 30 m.'s spændvidde under almindelige forhold, og naar fundamentene er sikre. For større spændvidder vil saadanne hvælv kun komme til anvendelse, naar pilforholdet er særlig gunstig.

a) Hvælv av haandløftsten.

Stenene bør helst ikke være større, end at de let kan løftes av 1 (å 2) mand. Er de tyngre vil baksningen let ødelægge mørtelen i den del, som er muret i forveien. De bør heller ikke være tyngre, end at de let kan presses jevnt og forsigtig ind mot det før utførte murverk.

Stenene maa mindst mulig dreies under denne indtrykning.

Det er av særlig vigtighet for sammenhængen av mørtelen, at dette utføres rigtig.

b) Brudstenshvælv av større sten.

Foruten haandløftssten kan ogsaa større sten brukes. Disse bør anbringes forsiktig i passende avstand fra den færdige mur og fugerne derpaa fyldes med cementmørtel.

Det kan herunder, særlig paa hvælvets midterste parti bli nødvendig at støtte stenene ved smaa kiler, saa de ikke falder frem og fugerne aapner sig bak dem.

Utvinding og tildannelse.

Hvad enten smaa eller større sten anvendes saa kan fordringerne til stenens form ikke sættes for store, hvis ikke hvælv skal bli for dyrt. Der anvendes mindst mulig arbeide i stenbruddet, og der blir sjelden spørsmaal om syndelig tildannelse senere; dog vil det som regel lønne sig at anvende noget mere arbeide paa større sten end paa haandløftssten.

Trykfugerne maa staa saavidt mulig radielt; derfor maa man ha lagelig sten (men den behøver ikke at tilhugges kileformet).

Sten, som ikke har utprægede liggeflater (ligg og bygg) bør ikke anvendes.

Vaskning.

Det er av vigtighet, at stenen er ren, og at den ikke er saa tør, at den berøver mørtelen dens fugtighet. Den bør derfor like før indmuringen være børstet og vasket paa alle sider, saa den er saavidt fugtig, at den ser mørk ut. Den bør imidlertid ikke være saa vaat, at den glinser av vand. Man er nemlig henvist til at bruke temmelig fugtig mørtel for at faa et tæt murverk; mørtelen bør derfor være saa plastisk at den glider som grøt paa spaden. Det vilde da være uheldig, at faa endnu mere vand i mørtelen, specielt paa sammenstøtsflaterne mellem sten og mørtel.

Mørtel.

Det er av allerstørste vigtighet, at denne blir god, ti herav avhænger væsentlig murverkets styrke. Hertil kræves god cement, god ren sand, rent vand og god blanding. Ved vigtigere broer bør cement og sand og i tilfælde sten prøves ved en prøveanstalt. Ved alle broer bør materialerne undersøkes av vedkommende ingeniør av og til under arbeidet.

Som under vaskning antydnet maa mørtelen før muring være saa plastisk, at den er bekvem at arbeide med.

Passende vandtilsætning gir den efter omstændighetene tæteste og bedste mørtel. Erfaring har vist, at forliten vandtilsætning særlig i forbindelse med forholdsvis ublandet grov sand gir porøs mørtel. I saadan mørtel er cementens kulsure kalk utsat for at bli utvasket av vand, som enten opsuges gjennom de utvendige flater eller trænger ned ovenfra. Der forekommer da ofte drypstensdannelse under hvælvet.

Blandingsforholdet bør ikke være magrere end 1 : 3, helst litt fetere — ca. 1 : 2¹/₂, alt efter volum. 1 tønne cement regnes = 170 kg. = 122 liter.

Muring.

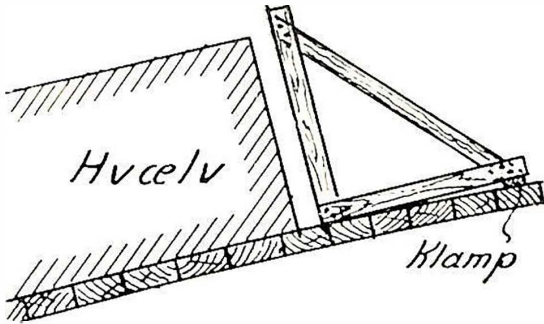
Noget egentlig forband i murverket trænges ikke, men opmerksomheten bør være henvendt paa at skaffe forband i saadan utstrækning som kan opnaaes uten synderlig merutgift.

Der blir omtrent ikke hugning paa hvælvet, kun nogen sortering eller tugtning av den uttagne sten.

Den bedste og største sten anbringes ytterst, hvorved hvælvet baade styrkes og faar et bedre utseende.

Der kan beregnes at medgaa av mørtel ca. $\frac{1}{3}$ av hvælvet's kubikindhold.

Muringen maa ske med forsigtighet, specielt ved toppen, hvor fugerne er lodrette. Trykfugerne maa være radielle. Dette bør stadig kontrolleres, da arbeiderne gjerne vil gjøre fugerne skraa, hvorved muringen falder



noget lettere. Arbejderne bør ha et redskap, med hvilket de selv kan kontrollere, at fugerne blir radielle. Hertil kan f. eks. benyttes et retholt med paaspikret klamp; kfr. hostaende skisse.

Arbeidet maa avbrytes, hvis det skulde begynde at regne — selvom det bare duskregner.

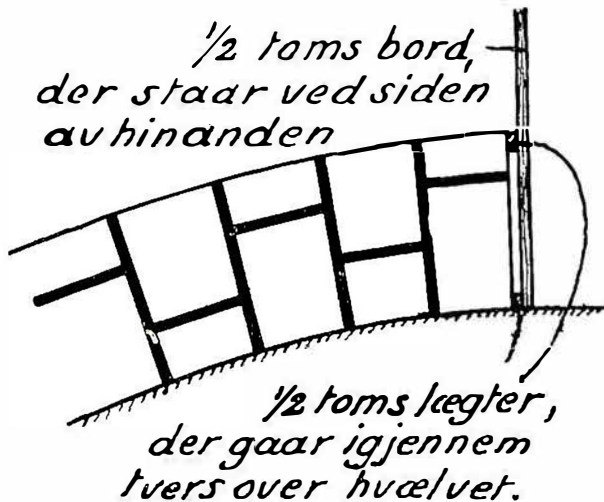
Man bør helst undgaa at mure i kulde. Blir man allikevel nødt hertil, maa sand, vand og sten opvarmes før muringen, og det færdige murverk bedst mulig beskyttes mot kulden.

Stenene maa i saa fald opvarmes helt igjennem og ikke blot i de ytre flater.

Hvælvets mures i partier; med fuger over lærebuens understøttelsespunkter (knutepunkter i øvre gurt i stilladset) samt ved hvælvfoten. Disse fuger staar aapne indtil alle partier av hvælvet er færdigmuret. Da først gjenstampes fugerne med mørtel.

Man begynner muringen fra vederlagene og murer symetrisk fra begge sider forat undgaa skjæv belastning og ujevne sänkninger av stilladset. Dette kan belastes med sten paa de partier, hvor man ikke holder paa med muring. Saadan belastning kan dog ikke ansees for at være nødvendig, medmindre stilladsets stabilitetsforhold særskilt skulde kræve den.

De ovenfor nævnte fuger mellem de enkelte hvælvpartier kan man faa istand f. eks. paa følgende maate:



Bord og lægter kan da let tages ut, naar fugerne skal fyldes.

Man bør tildække det færdige murverk med fugtig mos, vaate sækker eller lignende og sørge for, at holde dette dække stadig fugtig under hærdeningen.

3. *Mur av huggen sten med stampede mørtelfuger.*

a) *1 ring i hvælvet.*

Stenen kiles om nødvendig som gode landkarmurstene, der tildannes ved hugning men finhugges ikke. Stenene sættes løst paa stilladset med smaa kiler (av træ eller sten) i fugerne. Da mørtelen istampes samtidig over hele hvælvet bortfalder som regel ekstrabelastning av stilladset, medmindre dette er konstruert saaledes, at ekstrabelastning er ønskelig av hensyn til stabiliteten. *Muringen* og stenenes anbringelse paa plads paa stilladset kan utføres om vinteren, mens fugernes istampning, der ikke behøver at ta mere end 1 dags tid utstaar til mildveir indtræder om vaaren, naar kulden er gaat helt ut av stenen. Man bør ikke lægge arbeide paa tildannelse av stenene til kileform.

Fugerne bør helst ha en tykkelse av 3—5 cm. for at istampningen kan foregaa let. De kan forøvrig ogsaa gjøres adskillig større, om prisen derved blir rimeligere. Der opnaaes dog størst styrke ved forholdsvis smale fuger. *Fugerne* maa spyles før stampningen.

Mørtelen tilberedes med meget mindre vand end til brudstensmur, som skal mures direkte i mørtel. Den maa dog heller ikke være for tør — omtrent som kram sne. Der er større risiko ved at bruke noget for tør end noget for vaat mørtel.

Der stemples lagvis indtil mørtelen viser fugtighet (cementvælling) paa oversiden, d. v. s. indtil plasticiteten ved stampningen har arbeidet sig opover fra undersiden av det stampede lag. Mørtelens blandingsforhold 1 : 2 $\frac{1}{2}$ til 1 : 3.

Denne metode gir et særdeles godt murverk med stor fasthet. Der kan derfor tillates høiere paakjendinger i saadant murverk end i almindelig brudstenshvælv i cement. Metoden kan anvendes, hvor det er let, at faa god sten. Hvælvet blir dog med denne utførelsesmaate i almindelighet dyrere end ved almindelig brudsten i cement, da stenenes utvinding og tildannelse som regel blir dyrere. Metoden bør derfor for veibroer væsentlig kun komme til utførelse ved store spændvidder, eller naar hvælvet maa mures om vinteren, eller naar stenforekomsten er god og tillater let utkiling av saa store sten, at hvælvet selv ved foten kun faar 1 sten i høiden — altsaa naar hvælvet kan utføres i en ring.

Mørtelforbruket utgjør 15 à 25 pct. av det færdige hvælvs kubikindhold.

b) 2 ringer i hvælvet:

Der bør anvendes fortanding mellem ringene. Udførelsen, som kun kommer til anvendelse ved de største spændvidder, kan foregaa paa flere maater:

1. Underste ring kan mures for sig som selvstændig hvælv, og 2den ring paaføres først, naar cementmørtelen er hærdnet i underste ring. (2—4 uker efter fugernes utstampning). 2den rings stener anbringes paa mørtel, men de opadgaaende fuger blir foreløbig aapne og utstampes først, naar den hele 2den ring er anbragt. Det sier sig selv, at stenene i 2den ring maa anbringes forsigtig, saa underliggende ring ikke skades av stot eller rystelser.
Ved denne metode faaes rent teoretisk den ulempe, at trykfordelingen blir noget forskjellig i de to ringer, idet underste ring kommer til at bære øverste ring. Paa den anden side kan stilladset gjøres svakere, da dette kun behøver at beregnes for underste ring; desuten kan man sikrest paaregne godt og uskadt murverk med denne metode, idet underste ring har stor styrke for 2den ring paaføres. Metoden bør formentlig som regel foretrakkes, naar pilforholdet er saa stort, at midlertidige blyled kan undgaaes.
2. Selv med lavere pilforhold, naar blyled anvendes, kan væsentlig samme metode brukes; blyfugerne maa da støttes godt med kiler, men man opnaar ikke nogen besparelse paa stilladset, som i dette tilfælde maa beregnes for den hele hvælvvegt. I nærheten av leddene maa desuten særlig stor forsigtighet anvendes, idet her underste stener ikke er saa fastklemt i muren.
3. Begge ringer kan mures samtidig men i partier, saaledes at fugerne mellem hvert parti først utstampes, naar hele hvælvet er færdigmuret.

Fugerne inden hvert parti derimot utstampes efterhvert. Dette arbeide utføres *enten* saaledes at fugerne i underste ring utstampes før stenene i øvre ring paalægges, hvorefter disse stener anbringes paa cementmørtel men med aapne opadgaaende fuger som tilslut fyldes, *eller* alle stener inden et parti mures sammen uten mørtel, idet foreløbig træklosser lægges i fugerne. Det øverste lag løftes derefter av ved hjælp av patenttaljer og løpebok og oplægges i nummerorden ved siden av paa stilladset. De 2—3 første fuger i det underste stenlag fyldes med mørtel og stampes. Derefter paa-begyndes oplægningen av det øvre lag, hvis fuger efterhvert utstampes, mens man samtidig fortsætter med utfyllningen av fugerne i resten av underste lag.

Denne metode blev anvendt ved Bangsund bro, hvor utstampningen av de enkelte partier (1,7 m. lange) kun tok ca. 3 timer, saa hele

blokken var færdig inden den egentlige hærdningsproces var paa-begyndt.

Rent teoretisk maa vel sidstnævnte metode regnes som den fuldkom-neste; man maa dog ogsaa ved denne metode anvende den yderste for-sigtighed for at opnaa helt igjennem godt og uskadet murværk.

4. Beton.

Den til anvendelse kommende cement og sand bør være prøvet før anvendelsen baade hver for sig og om mulig som færdig beton. Man bør ogsaa under bygningen utføre stadige prøver til kontrol, især ved bygge-arbejder av noget større omfang og betydning.

Man bør som regel ikke anvende magrere mørtel end 1 : 3.

I almindelighed kan man faa fyldt ut alle hullerne mellem pukken med et blandingsforhold 1 : 3 : 6. Man bør dog anvende noget mere mør-tel. I almindelighed vil 1 : 3 : 5 eller bedre 1 : 2 $\frac{1}{2}$: 4 være passende.

Mørtelen blandes for haanden paa følgende maate: Cementen bredes ut over den avmaalte mængde sand (og grus), hvorefter cement og sand blandes tørt mindst 3—4 gange til blandingen blir ensartet. Derefter til-sættes vand under bearbejdelse av massen til denne er jevnt fugtig.

Tilslidst tilsættes den godt vaskede og noget fugtige puk og sammen-arbeides 2—3 gange med mørtelen. Betonblandingen skal ske like ved brostedet.

Ved litt større broer bør blandemaskiner anvendes, da saadanne skaf-fer den bedste blanding og sterkeste beton.

Hvælvet stemples i radielt avgrænsede partier og med fuger over stilladsets øvre knutepunkter — se herom under brudstenshvælv. Inden hvert parti paaføres og stemples betonen i lag av 15—20 cm. tykkelse med 12—15 kg. tunge stempler av 20 cm. bredde, indtil betonlaget er tæt helt igjennem og der viser sig fugtighed (cementvælling) paa oversiden.

Eventuelt kan der indstemples i betonen store lagelige stener, som da maa sættes med flatsiderne lodret paa hvælvet. Fugerne over stilladsets knutepunkter utstemples tilslut med mørtel. Beton kan med hensyn til soliditet formentlig nærmest sammenstilles med mur av lagelig brudsten, muret i rikelig mørtel.

Ved prøvning vil vel beton som regel vise større brudfasthet, sær-lig paa grund av den lavere vandtilsætning til mørtelen, betinget av at betonen stemples; paa den anden side maa det vel regnes som en betryg-gelse ved brudstensmur, at eventuelle rissdannelse mere tvinges til at følge de solide stenes fugeretning — altsaa lodret paa hvælvet.

De absolute brudstyrker vil ogsaa som regel ved forsvarlig utførelse være store nok i forhold til optrædende paakjendinger, og forskjellen i brudstyrke — betinget av større eller mindre vandtilsætning til mørtelen

— vil formentlig være størst i den første tid efterat den egentlige hær-
ning er tilendebragt, men senere mere og mere utjevnes under efter-
hærdningen.

Beton kan med hensyn til soliditet for hvælv i hvert fald neppe side-
stilles med mur av huggen sten med utstampede fuger.

Beton sees ikke desto mindre i utlandet anvendt til meget store
spænd; ofte er dog da anvendt nogen armering selv om strækkrefter efter
beregningen ikke skulde optræde. Saadan armering bør formentlig altid
anvendes ved store betonhvælv og særskilt bestemmes for hvert enkelt
tilfælde.

5. *Valg av hvælvmur, stenundersøkelse m. v.*

Som tidligere nævnt bør tørmur neppe brukes længer end til 10 à
15 m. spænd, og brudstensmur i cementmørtel samt beton uten armering
neppe over ca. 30 m. eller noget mere ved gunstige pilforhold.

Huggen sten med utstampede fuger bør fortrinsvis brukes ved de
største spændvidder.

Utover disse væsentlig skjønsmæssige uttalelser kan der neppe siges
noget bestemt om valg av byggemaate, og regler for dimensionering efter
tilladte paakjendinger for de forskjellige byggemaater kan neppe op-
stilles.

Som oftest vil stabilitetsforholdene og ikke saa meget styrkeforholdene
bli avgjørende for valg av hvælvtykkelse.

Desuten kan de absolute maksimalpaakjendinger i virkeligheten ikke
forandres meget ved mindre forandringer av hvælvtykkelsen i forhold til
dimensionering efter de anførte kurver. En noget større tykkelse vil
reducere paakjendinger av egenvegt og mobillast noget, men øke tempe-
raturpaakjendingen og som regel ikke væsentlig forandre de absolute
maksimalpaakjendinger. Kun meget store og flate broer gjør en und-
tagelse derved at paakjendingerne her noget hurtigere reduseres med
økede dimensioner. For disse spænd blir ogsaa de absolute maksimal-
paakjendinger mere avgjørende end stabilitetsforholdene, saa her kunde vel
nogen variation av hvælvtykkelsen efter byggematerialer tænkes rimelig.
Imidlertid blir der ved disse store broer under alle omstændigheter bruk
for meget godt murverk, og det er neppe mulig at angi noget bestemt
forhold mellom materialkvalitet og dimensionering.

Selv om saaledes i almindelighet ikke væsentlige modifikationer i
dimensioneringen kan gjøres efter de forhaandenværende materialer til
hvælvets bygning, men materialer og byggemaate væsentlig maa avhænge
av spændvidde og pilforhold, saa blir der dog i mange tilfælder anled-
ning til at vælge mellem 2 eller flere byggemaater og man bør derfor

særlig ved større broer altid paa forhaand undersøke stenforekomsterne og eventuelt ved prøvesprængninger og prøvehugning av stenen bringe dennes egenskaper (om den er laglig og veirbestandig samt forekommer i tilstrækkelige mængder etc) paa det rene før endelig valg av disposition træffes. Likedan bør sand og i tvilsomme tilfælder ogsaa vand til cementmørtel undersøkes. I enkelte tilfælder kan spændinddelingen avhænge av saadanne undersøkelser og under alle omstændigheter er det meget ubehagelig først forsønt at komme underveir med at materialerne til hvælvets bygning ikke er tilstrækkelig gode — eller muligens volder upaaregnede omkostninger, som eventuelt vilde ha ledet til valg av andet brosystem, om de paa forhaand hadde været kjendt.

B. Midlertidige blyled

bør i almindelighet brukes ved spændvidder større end ca. 15 meter.

1. For hvælv av huggen sten med utstampede fuger ved pilforholde lavere end ca. $\frac{1}{3}$;
2. For hvælv av bruddsten i rikelig mørtel og for betonhvælv ved pilforhold lavere end ca. $\frac{1}{4}$.

I begge tilfælder forutsættes urokkelige fundamenter; naar derimot nogen sætning av fundamenterne maa paaregnes, bør blyled ogsaa brukes ved høiere pilforholde. Nogen variation bør vel ogsaa gjøres efter de paaregnelige temperaturforhold og muligens efter trafikforholdene.

I tvilsomme tilfælder kan anvendelse av noget høiere overmur være gunstig naar blyled sloifes. Dette maa undersøkes for hvert tilfælde.

Som laveste tillatte pilforhold uten anvendelse av *permanente led* kan i almindelighet regnes ca. $\frac{1}{7}$. Dog avhænger dette ogsaa av temperaturforholdene og desuten for endel av spændvidden, idet faren for altfor eksentrisk tryklinje er størst ved mindre spænd og faren for høie paakjendinger er størst ved store spænd.

Ved spændvidder over ca. 25 m. og under ca. 40 m. eller noget mere kan man vel i almindelighet gaa lavest med hensyn til pilforhold.

Særskilt beregning forutsættes i alle tilfælder opsat, hvor man ønsker at gaa til lavere pilforhold end $\frac{1}{7}$ uten permanente led.

For ganske smaa spænd nytter det litet at anvende midlertidige blyled, da allikevel temperaturvekslingerne vil bringe tryklinjerne til hvælvets ytterkanter. For disse broer har heller ikke økning av overmurens høide utover hvad kurverne angir synderlig betydning, idet økningen ved smaa spænd vil falde langt over rimelige grænser. Ved smaa spænd antages imidlertid delvis ledvirkning at maatte optræde i enkelte snit og som regel bli effektiv nok før de absolute maksimaltrykpaakjendinger naar op i farlige høider.

Blyndlægget gjøres i almindelighet av blødt valsebly med tykkelse ca. 2 cm. og saa stor anlægsflate, at paakjendingen for egenvegt + $\frac{1}{2}$ mobillast blir omkring 100 kg./cm.², naar trykket regnes jevnt paa hele flaten.

Blyndlæggenes længde gjøres 5 cm. mindre end hvælvbredden.

Blyndlæggene anbringes mellem hugne sten saa tykke, at rissdannelse kan antages udelukket.

Hvælvet maa «sluttes» ved siden av disse hugne stene og ikke i selve blyfugerne, idet de hugne stene maa kunne skyves fast ind mot blyet.

Blyfugerne bør staa aapne omtrent et aar og gjenstopes ved saa lav temperatur som mulig uten fare for frost; herunder bør broen helst være belastet med et gruslag svarende til $\frac{1}{2}$ mobillast. Eventuelt kan blyndlægget anbringes noget under hvælvs midtlinje i toppen og over midtlinjen ved foten og saaledes avpasset, at tryklinjen kommer gunstig selv om igjenfyldningen av fugerne maa utføres ved ubelastet bro og høiere temperatur.

Den til utstøpningen anvendte cementmørtel bør være fet (ca. 1 : 2) og den kan gjerne være noget tyndflytende for lettere og sikrere at fylde fugerne helt.

Stampning med fastere mørtel kan ogsaa brukes.

C. Hvælvisolering.

Hvælvs isolering kan utføres paa flere maater, men antages som regel helst at burde gjøres av flere lag petroleumbek og strie, anbragt paa det jevnt pudsede hvælv — uten noget større mellemlæg av beton — over hele hvælvbredden og helt ned til kæmper, hvor de fornødne vand-anløp anordnes.

2 lag jutestrie nr. 38 med ca. 10 cm. overdækning i skjoterne er tilstrækkelig. Varm bek strykes paa hvælvflaten samt mellem og over strielagene og hvert strielag strykes med varmt jern. Tilslut strøes med ren sand. Pr. m.² flate medgaar ca. 6 kg. bek. Før paastrykning av bek bør cementavjevningen være godt avbundet og tør, helst soltørret eller kunstig tørret ved hjelp av loddelampe. Benyttes loddelampe, kan bekningen endog utføres i frostveir.

D. Overmurene

kan utføres som tømur eller mures i cement — i sidste fald helst med enkelte avbrytelser, saa uregelmæssige sprækdannelser under deformationerne undgaaes.

Tømur maa antagelig ansees som det bedste, og den bør utføres som almindelig landkarmur.

Man maa iagttå, at muring med store stene umiddelbart ovenpaa isoleringen forutsætter stor forsigtighet, naar isoleringen ikke skal skades. I almindelighet er det bedst at mure underste parti av muren av mindre sten og paa et lag mørtel. Likedan bør iagttages den forsigtighetsregel, at indfylden nærmest isoleringen ikke bør bestaa av større skarpkantede stener selv om disse lægges forsigtig. Man bør helst mellem stenfylden og isoleringen anbringe et lag grus eller smaasten.

F. Stilladssænkningen.

Under gunstige forholde kan stilladssænkningen foregaa ca. 4 uker efter at hvælvet er færdigmuret. Sænkningen bør foregaa jevnt og under ingeniørtilsyn.

Har muring eller støpning fundet sted i den kolde aarstid eller i surt og raat veir, kan avbinding og hærkning trænge meget længer tid.

Cementens lagringstid kan ogsaa ha stor indflydelse i retning av at forsinke hærdommen.

Man bør derfor i alle tilfælder søke at bringe paa det rene, hvor langt hærdommen er fremskredet før stilladset sænkes — f. eks. ved forsigtig boring i enkelte støtfuger fra undersiden (kfr. veidirektørens cirkulære av 11. december 1909).

G. Kontrol.

Før at faa et godt hvælv er en stadig og nøiagtig kontrol nødvendig.

Tilsynet bør derfor ikke overlates alene til en opsynsmand, men arbeidet maa til stadighet ogsaa tilsees av en ingeniør.

Dette gjælder særlig de byggemaater, hvor cement kommer til anvendelse.
