

Helge Kleemann  
Lars Sonnenrein

## Praktisk konstruksjon av vindskeive takflater

Rekonstruksjon av arbeidsmåte for bygging av tårnkonstruksjonen med hovedfokus på skiftning i Bergen Domkirke

Bacheloroppgave i Tradisjonelt bygghandverk  
Veileder: Ulrik Hjort Lassen, Roald Renmælmo, Trond Oalann  
Mai 2022





Helge Kleemann  
Lars Sonnenrein

## **Praktisk konstruksjon av vindskeive takflater**

Rekonstruksjon av arbeidsmåte for bygging av  
tårnkonstruksjonen med hovedfokus på skiftning i  
Bergen Domkirke

Bacheloroppgave i Tradisjonelt bygghandverk  
Veileder: Ulrik Hjort Lassen, Roald Renmælmo, Trond Oalann  
Mai 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for arkitektur og design  
Institutt for arkitektur og teknologi



Kunnskap for en bedre verden



## TBBY4003 Bacheloroppgaven i Tradisjonelt Bygghandverk

# Praktisk konstruksjon av vindskeive takflater

Rekonstruksjon av arbeidsmåte for bygging av tårnkonstruksjonen med hovedfokus på skiftning i Bergen Domkirke



Kirkebyggdatabasen Foto: Torild Granhaug

## Forord

Studentene i faget Tradisjonelt bygghandverk ved NTNU er nok over gjennomsnittlig interessert i alt som er eldre enn dem selv. Dette gjelder også for forfatterne, Helge Kleemann og Lars Sonnenrein. Helge er snekker og Lars tømrer. Begge med bakgrunn og opplæring i Tyskland. Vi er genuint interessert i gamle tradisjoner, historie og håndverket fra gamle dager. Vi har funnet hverandre gjennom interessen og nysgjerrighet rundt temaet «Skiftning». Denne gamle tømrertradisjonen er et av grunnelementene i tømrerfaget. I Norge i dag er det bare noen få som mestrer denne delen av det eldre tømrerfaget. Dette gav oss enda en grunn til å ville studere faget på et dypere nivå. Det ville ha seg slik at Helge, gjennom sitt arbeid hos Akasia har kommet tårnet i Domkirken i Bergen litt nærmere enn gjennomsnittet.

Her fant vi en utfordring vi ikke hadde jobbet med før: vindskeive takflater! Dette er noe en ikke ser så ofte. Overgangen fra firkant til åttekant på Domkirketårnet inneholder en 45 graders vridning til grunnflaten. Dette var spennende og måtte undersøkes nærmere. Det viste seg fort at å tegne en slik vridning ikke var helt lik de konvensjonelle takkonstruksjonene. Hjernen vridde seg like mye som tårntaket!

Plutselig fant vi en mulig løsning. Den var jo egentlig ikke så vanskelig, og når en først hadde funnet begynnelsen så ballet det bare på seg. Spennende ting skjedde på tegnebrettet. Alle teoriene ble utprøvd i en liten modell.

Vår reise gjennom denne bacheloroppgaven var spennende, givende, frustrerende og utrolig lærerik. Det som begynte med utallige spørsmål ende med mestringsfølelse og en dypere forståelse av konstruksjonen og skiftning.

Vi vil i denne sammenhengen takke veilederne våre, Ulrik Hjort Lassen, Trond Oalann og Roald Renmælmo. Mest av alle vil vi takke familiene våre, som i 4 år har styrket ryggen vår og har gjort det mulig å komme til dette punktet.

Kanskje vi klarer å løfte skiftning til et nytt/ gammelt nivå, og at fagnemndene blir oppmerksomme på denne viktige delen av tømrerkunnskapen igjen.

## Sammendrag

Vindskeive tak ser en ganske sjelden. Vi har i denne rapporten sett nærmere på utførelsen av det vindskeive tårntaket i Bergen Domkirke. Tårntaket, som ble bygget i 1725, inkluderer en 45 graders vridning i takflaten mot hjørnene. Med det som utgangspunkt har vi analysert og kartlagt de ulike prosedyrene og tegneteknikkene som kan ha blitt brukt i fremstillingen av en slik konstruksjon.

Hovedfokuset i denne rapporten var er å analysere konstruksjonselementene som utgjør den vindskeive delen i tårntaket. Forfatterne skulle finne ut hvordan konstruksjonen kan ha blitt tegnet og bygget, både teoretisk på papir og praktisk ved å bygge en modell. Vi har sett nærmere på læren om skiftning. Vi har analysert denne teknikken fra et historisk perspektiv ved hjelp av litteratur og praktisk ved å bruke den i en modell.

Tårntakets konstruksjon ble undersøkt etter spor og markeringer. Dette skulle hjelpe å bestemme mulige konstruksjonsmetoder. Som et resultat av analysen har vi konkludert med 2 mulige metoder. Begge metodene ble deretter brukt i et praktisk forsøk, for å bestemme hvilken som var mest sannsynlig brukt.

Resultatene av våre praktiske forsøk viser at det er høy sannsynlighet for at hovedkonstruksjonen i tårnet er tegnet og konstruert på avbindningsplassen. Arbeidet med den geometriske fremgangsmåten (skiftning) viste seg å være en presis og rask metode for å konstruere og tilvirke en forsøksmodell.

Den vindskeive hjørnekonstruksjonen som forfatterne har lagt hovedfokuset på, er ikke bygget på samme måten. Her har sperrene blitt plassert tilfeldig, og har blitt individuell tilpasset på stedet. Her har det blitt brukt en praktisk tilnærming.

## Abstract

Curved, non-linear or bell-cast roofs are quite rare. In this report, we have taken a closer look at how the bell-cast, curved tower roof of the Bergen Cathedral was built. The tower roof was built in 1725 and includes a 45 degree curvature that flairs upwards from the corners of the tower. We have analyzed and surveyed the various procedures and layout techniques that would have been used to make this unique roof design.

The primary focus of this thesis is to analyze the construction elements that make up the bell-cast shape of tower roof. We aim to determine how this construction might have been laid out and built, both theoretically on paper and practically by designing a model. Using stereotomy, we explored specifically the technique of lofting (stereometry), a drafting technique to generate uniform curved lines. We analyzed this technique from a historical perspective using literature and practically by applying it with a model.

The tower roof's construction was surveyed for clues and markings to help determine possible layout techniques and construction method. As a result of the analysis we have concluded on 2 possible methods. Both methods were then applied practically to determine which was more likely used.

The results of our practical application of the techniques, show that it is most likely that the main construction of the tower was designed and built on-site. Lofting (skifting) proved to be both very accurate and efficient in the construction of our hand-crafted model. However, it does not appear that the 45 degree curvature in the corners of the roof-plane were made in the same way. In this specific detail of the roof construction, the rafters are placed randomly and were constructed individually, on-site as the main construction was being assembled. It can be concluded that this practical approach was used for the corner elements, for ease of visualization and construction while the form of the main roof took shape.



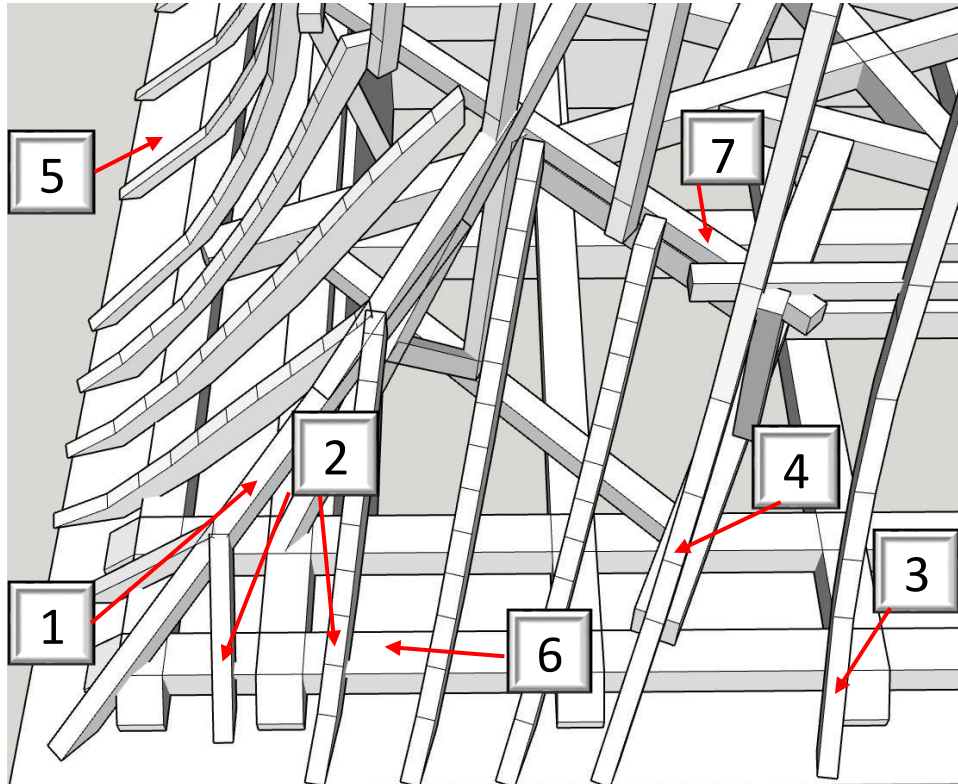
# INNHALDSFORTEGNELSE

<b>FORORD</b> .....	<b>2</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>4</b>
<b>INNHALDSFORTEGNELSE</b> .....	<b>5</b>
<b>TERMINOLOGI</b> .....	<b>7</b>
<b>INNLEDNING</b> .....	<b>10</b>
BERGEN DOMKIRKE .....	11
TÅRNET ETTER BYBRANNEN I 1702: .....	12
INNE I TÅRNET: .....	13
BÆREKONSTRUKSJON I TÅRNETAKET .....	15
BARE ET HJØRNE? .....	18
<b>1. PROBLEMSTILLING</b> .....	<b>19</b>
AVGRENSNINGER .....	19
<b>2. MATERIAL</b> .....	<b>21</b>
2.1 KONSTRUKSJONEN .....	21
<i>Andre bygninger</i> .....	21
<i>Tårnet</i> .....	22
2.2 LITTERATURSTUDIER .....	23
<b>3. METODER</b> .....	<b>24</b>
3.1 OPPMÅLING OG DOKUMENTASJON .....	24
3.2 SPOR I KONSTRUKSJONEN .....	29
3.3 SKIFTNING I TØMRERFAGET .....	30
<i>Hva er skiftning?</i> .....	30
<i>Historie og utvikling av skiftning i lærebøkene</i> .....	33
<i>Skiftning i Europa</i> .....	35
<i>Bruk av skiftningen i nåtiden</i> .....	36
3.4 FORSKJELLIGE METODER .....	37
<i>Profil- eller loddskiftning</i> .....	38
<i>Skiftning i plan- «planskiftning»</i> .....	39
<i>Skråprojeksjon/ Skiftning med høydelinjer</i> .....	41
<i>Trigonometri</i> .....	44
3.5 PRAKTISK TILNÆRMING .....	44
<b>4. EKSPERIMENT</b> .....	<b>46</b>
4.1 TEGNINGER .....	46
4.2 MODELL M 1:10 .....	48
4.3 OPPSLAGSPLAN .....	49
4.4 MODELL M 1:2 .....	49
<b>5. RESULTAT</b> .....	<b>51</b>
5.1 PROSESSBESKRIVELSE SKIFTNING / TEGNING/ OPPSLAGSGULV .....	51
5.2 PROSESSBESKRIVELSE MODELL 1 : 2 .....	55
5.2.1 <i>Takflaten etter skiftningsmetoden</i> .....	55

5.2.2 Takflaten etter en praktisk tilnærming.....	66
<b>6. DRØFTING.....</b>	<b>70</b>
6.1. HVA KOMMER VI FREM TIL? .....	70
6.2 KONKLUSJON .....	72
6.3 ER OPPGAVEN NYTTIG FOR ANDRE? .....	72
6.4 FRAMTIDIG UNDERSØKELSER/ FORSKNING.....	73
<b>7. LITTERATURLISTE .....</b>	<b>75</b>
<b>8. VEDLEGG.....</b>	<b>77</b>


## Terminologi

I praktiske emner er det viktig å anvende den rette fagterminologien. I denne oppgaven har vi vært innom en rekke termer som ikke nødvendigvis brukes i det hverdagslige språket i Norge. I noen tilfeller har vi vært tvunget til å skape ord eller tilnærme oss ord fra utlandet som passer i denne sammenhengen. Dette står for forfatterens regning.



Bilde 2 Skalert bildet av 3D modellen med visning av de enkelte delene

- 1. (Hoved)gradsperre** En konstruksjonsbjelke i takstolkonstruksjonen som ligger med en helning (skråstilt) i et hjørne i bygningen fra fotpunktet og oppover (til møne) og forbinder 2 takflatene med hverandre.
- 2. Skiftesperre** En konstruksjonsbjelke i taket som ligger mot (smyge seg på) en grad- eller kilspærre med forskjellige lengder. Denne sperre har en skråkappet flate, der den treffer på en annen konstruksjonsdel.
- 3. Profilsperre** En sperre som ligger plassert i hovedtaket av en bygning
- 4. Sekundærgradsperre** En gradsperre som ligger mellom hovedtaket og den vindskeive takflaten
- 5. Yttersvill** En sville som ligger på ytterkant av bygningens grunnflate (på fundamentet eller ringmur).
- 6. Innersvill** En sville som ligger i en avstand til yttersvill mot innsiden av ringmuren.
- 7. Åttekantsås/ Ringås** En ring av åser som danner en åttekant.

<b>Avbindingsplass</b>	En plan plass (gulv) der tømmer utfører skiftning til å tegne opprisset, merker emne og kapper til tak-, tårn eller andre bygningskonstruksjoner	
<b>Avkanting (Fas)</b>	En skrått skjært flate (fase), til gradens rygg (høyestepunkt i tverrsnitt av gradsperre), som danner en grat på overkanten av en gradsperre.	
<b>Flukt</b>	Blir dannet av minst 2 flater eller kanter som møtes i samme plan.	
<b>Fotpunktet</b>	Kan være et hakk i bunnsvillene der sperrene bli felte ned i, eller en horisontalt kuttflate av en klo i en sperre eller gradsperre, som sitter på ytterste kant av bunnsvillen.	
<b>Geometri</b>	En metode å framstille, kalkulere og tegne for eksempel figurer, kropp og former i forskjellige perspektiver og projiseringer.	
<b>Gradlinje</b>	Gradlinje danner skjæringspunktet av 2 takflater.	
<b>Gradgrunnlinje</b>	Senterlinje av gradsperran som ligger i plantegning i grunn.	
<b>Salingshakk (Hjerteklo)</b>	En hjerteklo er et spesielt salingshakk, i fot- eller mønepunktet av en grad- eller kilsperre. Dersom en grad- eller kilsperre treffer innerkantene eller ytterkantene av svillene eller møneåsene som ligger i en vinkel, oppstår det en spesiell klo. Kloen i denne sperren, blir utarbeidet på undersiden av sperren, som kviler på svillene eller åsene. (Bildet 3)	
<b>Hovedtak</b>	Takflaten uten tilpasninger og like takprofil.	
<b>Hovedtaksperre/profilsperre</b>	Sperre som ligger i hovedtaket	
<b>Kryssavstivinger/Andreaskors</b>	Skrå stilte konstruksjonsbjelker, som krysser hverandre. Disse blir plassert imellom stående eller liggende konstruksjonsdeler for å stive disse av. En forsterkning mot bevegelse i en konstruksjon. Bevegelsene kan oppstå når en last (vindlast, egenvekt og snølast) påvirker konstruksjonen.	
<b>Klo</b>	Er en eller flere hakk på underkanten av en sperre, som sitter på en kant av en bærende konstruksjonsbjelke.	
<b>Lodd smyge/ Loddkutt</b>	En skrått kappet flate som er på enden av en skiftsperre, der den kappet flaten står i lodd, i forhold til skiftsperren, som bli bygget inn i takkonstruksjonen med en helning (i en takvinkel). Kuttlinje går langs på oversiden av sperren.	
<b>Møne/ mønesvill</b>	Bærende, mest horisontalt liggende bjelker, øverst i taket, som bærekonstruksjon for sperrene.	
<b>Oppslagsplan</b>	En ren, plan flate (ofte entregulv) der tømmer tegner opp en takkonstruksjon og framstiller med skiftningsmetoder, de reelle lengde og vinkler av de forskjellige konstruksjons delene. Her bli alle målene overført på emne for å kunne utarbeide disse.	
<b>Over- og undersperre</b>	En oversperre er den sperren (kan også være en gradsperre) som blir plassert mot overkant av den dannede takflaten i	

Bilde 3 Hjerteklo

	takkonstruksjonen. En undersperre bli da plassert under oversperren, i samme retning, for å støtte den.
<b>Plantegning</b>	I plantegning blir grunnflatene av bygningen med alle sine konstruksjonsdeler (bjelker) vist. En ser fra fugleperspektivet på bygningen. (alle deler ligger flat i grunn).
<b>Profiltegning</b>	I en profiltegning bli det tegnet de reelle lengde og form av en konstruksjonsdel, (for eksempel gradspærre eller en vanlig takspærre) med alle vinkler og eventuelle hakk, fra en side.
<b>Projeksjonstegning</b>	Viser en gjenstand ut ifra forskjellige synsvinkler.
<b>Skiftning</b>	En metode til å framstille reelle lengder og tilhørende vinkler i en takkonstruksjon.
<b>Smyge</b>	Et i vinkel liggende linje mellom to flater. For eksempel en i vinkel skåret flate som legger tett på en annet konstruksjonsdel, som ikke ligger i 90 grader i konstruksjonen.
<b>Sperrehakk</b>	Utfelling i svillene som sperrene kviler i.
<b>Stjernekruss</b>	En bjelkekonstruksjon i senter av et tårn eller en bygning. Bjelkene ligger med en ende mot midten, hvor de blir plassert og festet i en ring av andre bjelker.
<b>Stereometri</b>	Stereometri er en del av geometrien og tilhørende matematikk. Stereometrien omhandler geometri i rommet, for eksempel 3-dimensjonale projisering av kropper, figurer. En kan også si romgeometri = stereometri.
<b>Streve</b>	En skrått stilt søyle som støtter en annen konstruksjonsdel. Den skal avstive konstruksjonen mot bevegelser (for eksempel vindlastene), som kunne påvirke konstruksjonen.
<b>Søyle/ Stav</b>	En søyle eller stav er et bærende element (konstruksjonsdel) som overfører lastene loddrett til bærepunktet (fundament, bjelkelaget).
<b>Takgeometri</b>	(Skiftning) geometriske projeksjon av takkonstruksjoner.
<b>Takplan</b>	En metode å framstille takflatene i grunnplanen, for å bestemme alle takvinkler og skjærelinjer av de forskjellige takflatene.
<b>Taktro</b>	Bærende forskaling/ hud som ligger på takkonstruksjonen.
<b>Undergradspærre</b>	Konstruksjonsbjelke som understøtter en i samme retning plasserte bjelke
<b>Ås</b>	Mest horisontal liggende bjelke, mellom bærepunktene, som tar opp lastene.

## Innledning

Takkonstruksjoner med vindskeive takflater er et sjeldent syn, og trekker oppmerksomheten til seg. Så hvorfor finner vi ikke flere? I alle tidsalder, stilepokene og kunstformer har det alltid fantes folk som ville vise status, hvor spesielt og ekstravagant de var. Det har blitt bygget store byggverk, men hvor mange av de har ekstravagante takformer med vindskeive flater? Vi gjorde vårt funn i en kirke!

Da forfatterne av denne oppgaven kom over takformen i Bergen Domkirke, ble den et stort mysterium med det samme. Hvordan kan en konstruere en slik form og hva må til for å kunne bygge et slik tak? Det finnes lite i faglitteraturen om akkurat denne formen for takkonstruksjon.

Skiftning! Et stort ord! Etter samtaler med fagfolk er det bare noen få som vet hva den inneholder. Og kun noen enkelte kan praktisere den. Et godt utgangspunkt for to spesielt interesserte. For oss, som har tatt utdanningen i Tyskland, er skiftning en av flere grunnleggende kunnskaper i tømmerfaget. I Norge har det nesten forsvunnet ut av nåtidens lærebøker. Hvordan er det mulig? Er det ikke tidsrelevant lenger i dag? Det finnes ikke mange utfordringer en ikke kan løse med skiftning.

Helge har aldri skiftet før han begynte med andre året på studiet i Tradisjonelt bygghandverk. Han har erfaringer fra trappebygg og konstruksjonstegning i snekkerfaget. Han skal prøve å forklare skiftning og tegningene. Lars kan skifte, men han skal sette seg mer inn i båtbyggerteorien og se på en praktisk tilnærming.

Vi vil i denne rapporten belyse arbeidet med takkonstruksjoner. Arbeidet på avbindingsplassen og omsettingen av tegningsmaterialet til en komplett konstruksjon. I dette tilfelle med en liten vri. En vridning på 45 grader til takfoten, kun 2,35 m over bunnsvillen er utfordrende for både underkonstruksjon og taktekkingen. Konstruksjonen bestemmer takformen og i dette tilfelle også vridningen i takflaten. Denne vridningen setter store krav til de som bygger konstruksjonen.

Vi skal nå se nærmere på selve objektet.

## Bergen Domkirke

Domkirken i Bergen ble først nevnt i bøkene i 1181. Da ble den kalt «Olavskirken i Vågsbotn». Senere, etter bybrannen i 1270, ble det bygget et fransiskanerkloster på samme grunnmurene. I 1537 ble det bestemt at Fransiskanerklosteret skulle bli Domkirke. I den tiden sto den delvis i ruin. Den ble satt i stand og fikk sitt første tårn (takrytter) som satt omtrent midt på kirkeskipet. Allerede på 1600-tallet ble det bestemt at kirken skulle få et tårn i vestenden av skipet. Etter flere bybranner ble kirken gjenoppbygget i 1702 under ledelsen av Johan Conrad Ernst, en dansk arkitekt fra København. Han hadde med seg byggmester Johan Martin Heintz. Johan Martin Heintz var steinhugger fra Sveits. Han var med under oppbyggingen av Fredrikstad festning på 1600-tallet og Bergen Domkirke på 1700-tallet. Heintz forhøyte tårnet og bygget det i den formen det står i dag. Heintz overtok ledelsen i 1703 og jobbet på Domkirken til sin død i 1711. (Norges Kirker, Lidèn og Margerøy,1998)



*Bilde 4 Domkirketårnet. Her ser tydelig firkant og åttekanten i takformen. Bilde: forstørrelse av Foto fra Peter Neaum, fra Panoramio via Wikimedia Commons*

Kirken har gjennomgått en omfattende restaurering på 1880-tallet under arkitekt Christian Christ (1832-1906). På 1960-tallet gjennomgikk kirken en ny restaurasjon under Peter Helland-Hansen. Tårnet ble kun pusset utvendig i denne prosessen.

## Tårnet etter bybrannen i 1702:

Tårnet hadde i motsetning til kirkeskipet overlevd bybrannen ganske bra. Det var den øvre delen av murverket som var mest skadet etter brannen. Kirken ble gjenåpnet i 1706, men tårnet hadde enda ikke blitt påbegynt da. Tårnet skulle heves 6 alen, og et spissbuet hvelv skulle bygges over klokkeetasjen. Det skulle mures en kuppel av hugget stein med en «ziirlig Pyramide og Spiir derofver» (Norges Kirker, Lidèn og Margerøy,1998) som tårntak. I 1710 sto hvelvet ferdig og kuppelen var påbegynt. Man fikk da betenknninger over været i Bergen, og besluttet å sette et tak i tre og kobber over. Dette ble godkjent i 1713, men pga. pengemangel kunne ikke arbeidet fortsettes. I 1725 var tårntildekkningen helt ødelagt av vær og vind. Nå ble både kuppel og hvelv revet ned til tårngesimsen. Det ble engasjerte diskusjoner om hvordan tårntaket skulle se ut. Det kom forslag om et «italiensk tak». Vi antar at det var ment å sette på et rundt tårntak (kuppel) som er veldig typisk for Italia. Andre ville ha en enkel valmkonstruksjon med spir. Det ble en mellomløsning som sto ferdig 13.10.1725. Tekkingen med kobber ble påbegynt i 1726, men den siste siden av kuppelen ble ikke ferdig før i 1736. Lanteren (øverste delen av tårnet, anm. Helge Kleemann) sto ferdig i 1743.

Tekkingen av tårnet viste seg å være problematisk. Det fikk ny kobbertekking i 1790, 1804 og i 1842. (Norges Kirker, Lidèn og Margerøy,1998)

Vi har prøvd å gi et kort innblikk i historien av tårnet. I neste kapittel skal vi se nærmere på oppbyggingen av konstruksjonen.



Bilde 5 Dronebilde fra tårntaket etter ferdigstilt restaurering i 2018, Bildet: BOV



## Inne i tårnet:

Vårt objekt er en av fire middelalderkirker i Bergen. Bergen Domkirkens tårnekonstruksjon skiller seg godt ut fra alle andre kirkene i byen og det er ikke fordi at det sitter en kanonkule i murverket. Nei, det er tårnkonstruksjonen som er så unik, og det langt utenfor Bergen by og norske grenser. Siden starten av oppgaveskrivingen har det vært flere runder med befaringer i tårnet.

Både med og uten våre veiledere Ullrik Hjort Lassen, Trond Oalann og Roald Renmælmo. Første gangen vi var på befaring i Domkirken var i lag med en gjeng med tømrere fra «Handverkslaget». Alle er medlem i

tømrerfaget» og er interessert i takkonstruksjoner.

For å komme opp i tårnet må vi først gjennom en smal vindeltrapp som går opp i selve yttermuren av tårnet. Denne er murt i grov natur- og kleberstein. En får respekt og en del ærefrykt for det man ser når en kommer opp. Å være i en så imponerende bygning som ble konstruert og bygget av håndverkere med håndmakt og som er bevart i mange hundre år, fortjener respekt. Når man har nådd siste trinnet av steintrappen, viser det seg 3 stk. «sprengverk» som er den underste etasjen i



Bilde 6 3 stk. "sprengverk" som støtter seg på ringmuren av tårnet og bærer klokkestolen. (Foto, Lars Sonnenrein)



Bilde 7 Bjelkelaget som opprinnelig hadde et frispenn av 9,6m. På et senere tidspunkt ble det støttet av med søyler. Foto. Lars Sonnenrein

konstruksjonen av tårnet. Den bærer klokkestolen med 3 store kirkeklokker.

Videre over flere smale trapper i tre, kommer man forbi klokkene som står i en enorm klokkestol. En ble overveldet av en skog av konstruksjonsbjelker, strever og sperrer. Dimensjoneringen av tverrsnittene og lengdene av de forskjellige konstruksjonsdelene virker nesten uvirkelig. Det med tanke på dagens krav til dimensjonering i moderne bygg. Bare bjelkelaget som støtter tårnkonstruksjonen over klokketårnet, har et spenn imellom ringmuren på 9,60m. Bjelkene, som er i eiketre, er 16"x16"(ca. 40,5x40,5cm) i tverrsnitt. Det er ikke så lett å forestille seg hvor stort treet må ha vært, for at en kunne hugge en bjelke i denne dimensjon som er nesten uten vannkant. Rett og slett imponerende.

Når man passerer enda en trapp, har man nådd nivået av ringmuren. I denne etasje begynner trekonstruksjonen og det buete med kobberblikk tekkete Domkirketårn. Når en kommer inn på dette rommet for første gang, ser man et virvar av søyler og strever. For å kunne beskrive konstruksjonen må man først forstå helheten i tårnkonstruksjon. Når man

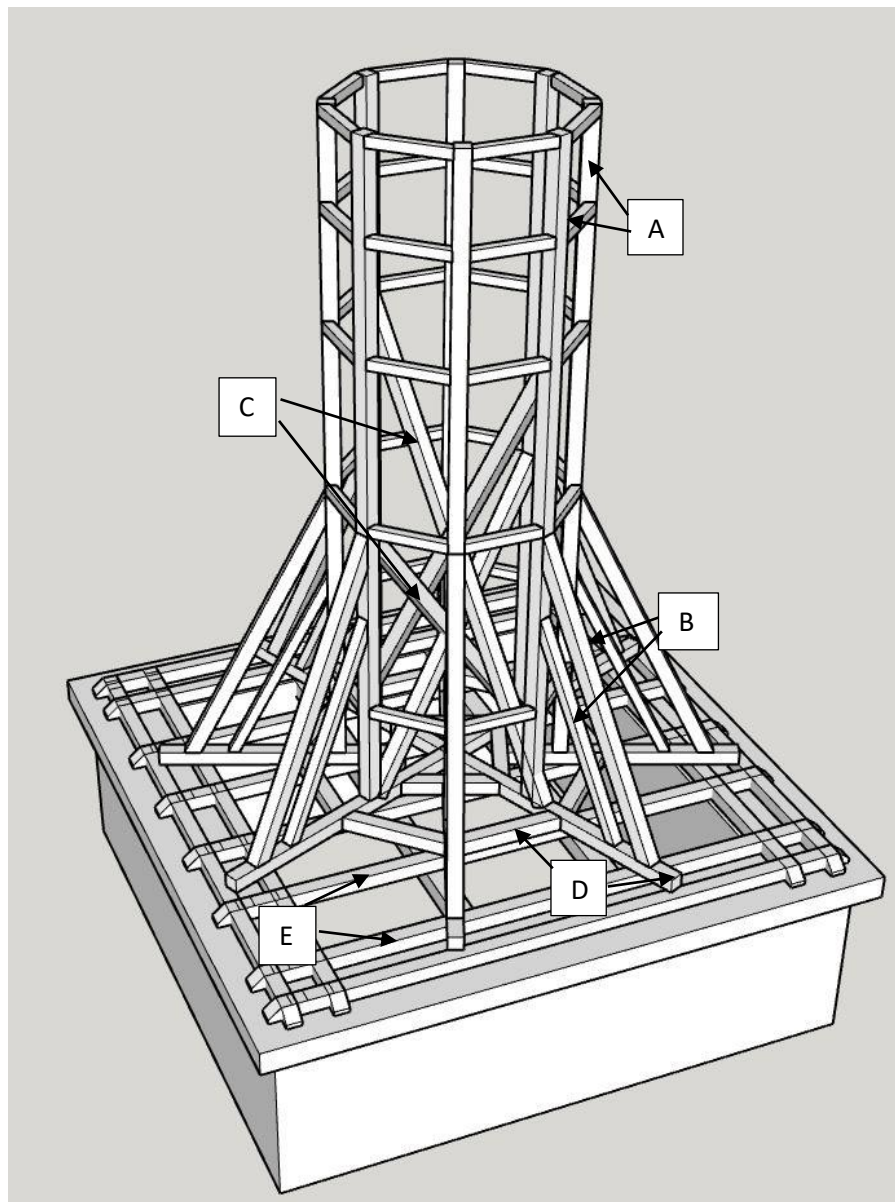


*Bilde 8 Konstruksjonen i tårnet. Et virvar av bjelker, staver og streber. Foto: Lars Sonnenrein*

ser oppbygging av bære- og støttekonstruksjonen, blir omfanget av det man ser mer og mer forståelig. For å beskrive hele tårnekonstruksjon, ville det sprengt omfanget av vår oppgave. Derfor konsentrerer vi oss bare på sør-vest hjørnet, som vi har valgt ut ifra å være den eldste og mest originale i tårnet.

Tårnkonstruksjonen og da spesielt hjørnekonstruksjonen, har ført til mange spørsmål og hypoteser. Noen av disse problemstillingene har vi pekt ut, for å finne svare på i denne oppgaven.

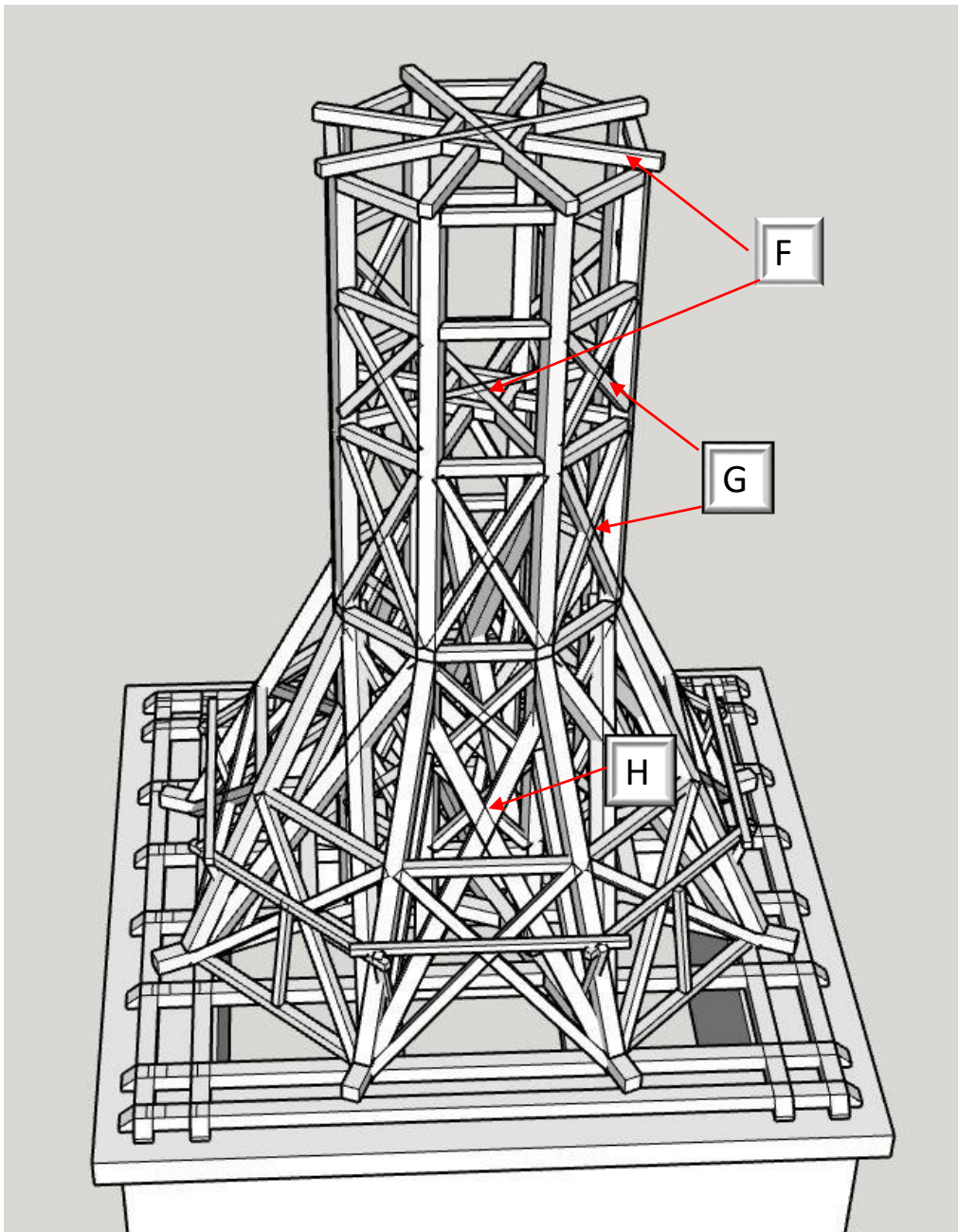
## Bærekonstruksjon i tårnetaket



Bilde 9 Bildet av 3D modellen fra Ulrik Hjort Lassen

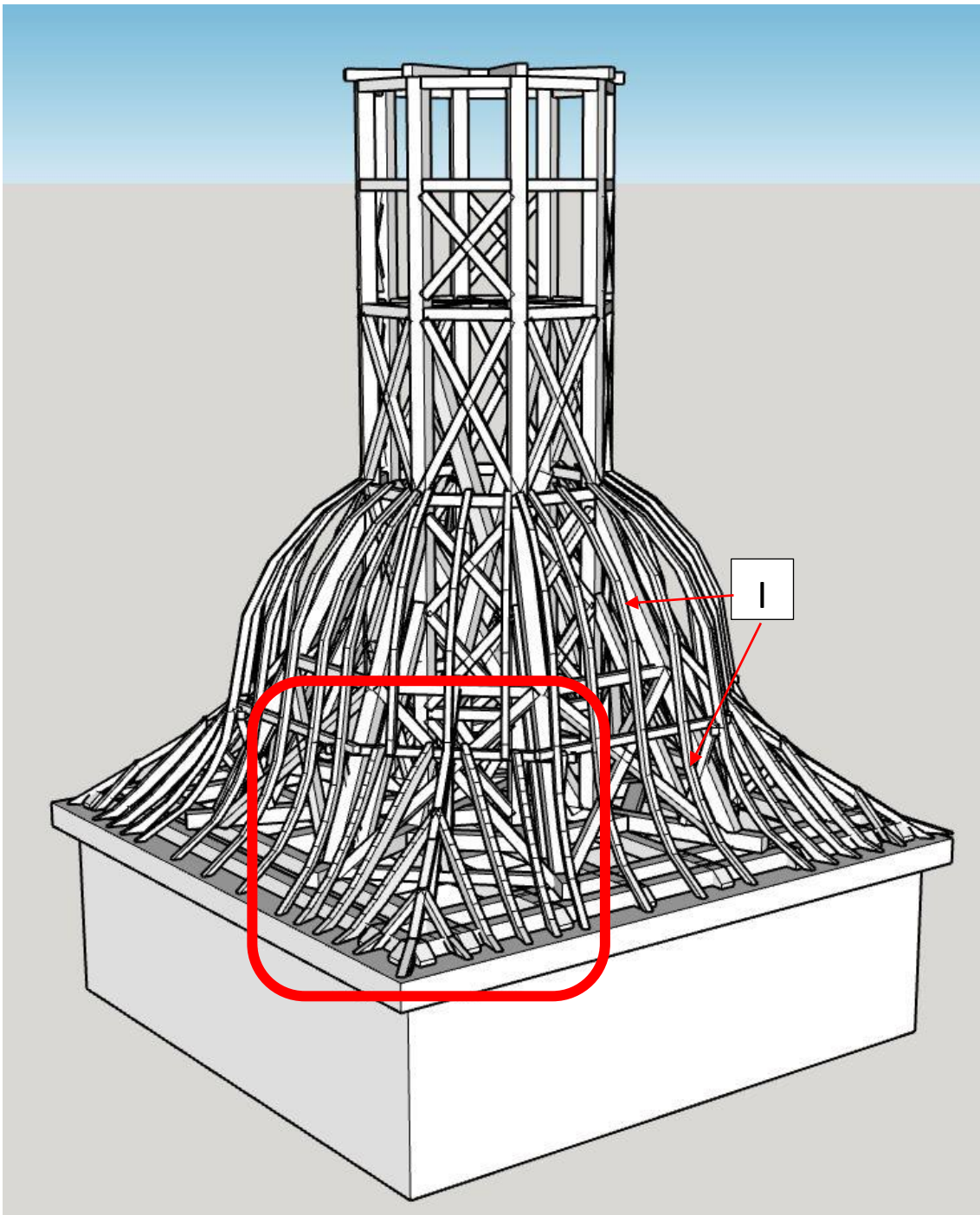
Tårnkonstruksjonen er en åttekant konstruksjon med 8 stående stolper (A), avstivende streber (over- og undersperre) (B) og kryssavstivinger (C). Den står forankret på et «stjernekruss» (D) som overfører lasten fra midten til ytterkantene og fungerer som avstivning i den liggende bjelkekonstruksjon.

Søylekonstruksjonen rekker helt opp til lanteren, og danner utgangspunktet for hele konstruksjonen. Konstruksjonen er konstruert for å stå imot store vindkrefter, og overfører disse på murkronen. Hele konstruksjonen blir båret av et dobbelt bjelkelag (E). I senere tid fikk bjelkelaget, som har et fritt spenn på 9,6 m, fire understøttende søyler.



Bilde 10 Bildet av 3D modellen fra Ulrik Hjort Lassen

Søylene blir stivet av med flere stjernekruss (F) og i seg selv kryssende strever i alle etasjer (G). Det er etablert krysstrever både innenfor og utenpå søylene (H) for å sikre tårntaket mot vindlast og forskyvning.



Bilde 11 Bildet av 3D modellen fra Ulrik Hjort Lassen

Det ytre skallet har også betydning i den konstruktive sammenhengen (I). Den såkalte «hjelmen» er en påsatt konstruksjon som gir kirketårnet dets utseende. Den hjelper med å ta opp trykk- og strekklast. Det rød markerte område i bilde nr.8 viser overgangen fra firkant i tårnfoten til åttekanten i 2,35 m høyde fra ringmuren.

## Bare et hjørne?

En 45 graders vridning fra firkant til åttekant var spesielt. I tillegg er den i en buet tårnhjelm.

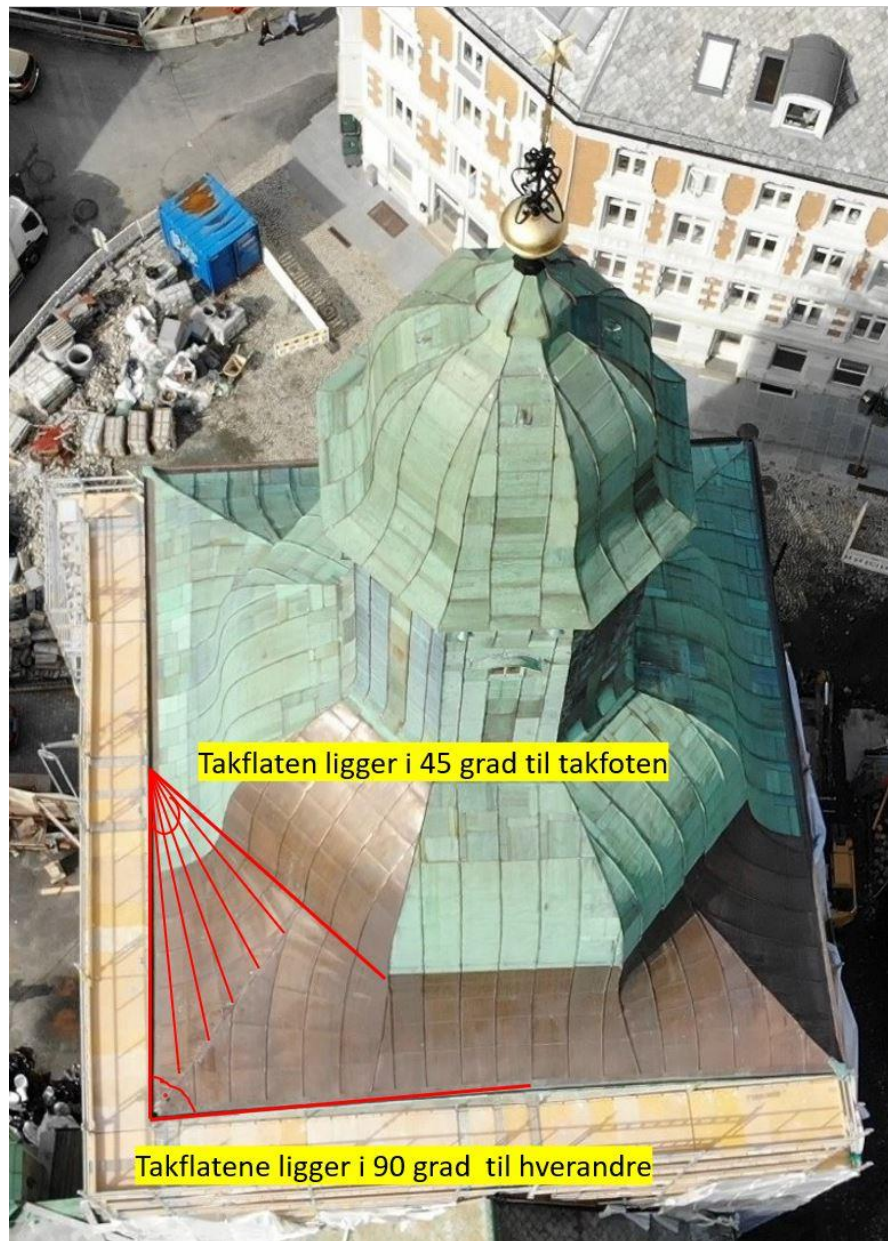
Tårnkonstruksjoner på kirker med et hjelmetak, ser i detalj litt annerledes ut enn

tårnkonstruksjonen ved Bergen Domkirke. Her er det gradsperran som er årsaken til, at den vridning som vi ser, er mer krevende å bygge, konstruere og forstå.

Tårntaket har blitt reparert og restaurert flere ganger i løpet av

årene. Under første befaringsstuderte vi oppbyggingen av tårnkonstruksjonen, og så nærmere på

reparasjonsarbeidet som har blitt utført. Vi fant fort ut at det kun er et hjørne i den nedre takkonstruksjonen, som ikke er blitt berørt av arbeidene tidligere. For å jobbe så nært som mulig den originale konstruksjonen, var det derfor kun det hjørnet som var aktuelt for arbeidet videre. Alt oppmålings- og dokumentasjonsarbeid omhandler sørvest-hjørnet. Vi vurderte å jobbe med hele tårnkonstruksjonen, men fant fort ut at det var en uoverkommelig arbeidsmengde for en Bacheloroppgave. I senere tid, når vi ser hvor stort arbeidet har blitt, er vi veldig glad for at den avgjørelsen ble tatt tidlig i prosessen.



Bilde 12 Bildet viser overgangen fra 90 grader til 45 grader i taket, Foto BOV AS

## 1. Problemstilling

I denne rapporten vil forfatterne undersøke arbeidsmetoden som kan ha blitt brukt under byggingen av de vindskeive takflatene på den nedre tårnhjelmen, like over murkronen i Bergen Domkirke.

Målsetningen er å granske hvordan en kan rekonstruere den vindskeive takflaten ved hjelp av skiftning og lignende metoder.

Ut ifra denne problemstillingen har vi stilt oss følgende spørsmål:

- Hvordan ser tårnkonstruksjonen i Bergen domkirke ut, og finner vi spor som forteller om hvordan håndverkerne løste problemet (bygget hjørnene)?
- Hvordan var kunnskapen om skiftning i Norge rundt 1700 tallet? Var skiftning en metode som ble brukt i tårnet og hvorfor valgte de eventuell å gjøre det på denne måten?
- Kunne skiftning ha vært brukt til å løse problemet, og på hvilken måte skulle det utføres?
- Kan litteraturen om skiftning være til hjelp for å finne en mulig løsning for den vindskeive konstruksjonen?
- Hvilke andre metoder enn skiftning kan brukes for å rekonstruere den vindskeive takflaten.

Skiftning er i denne sammenhengen en arbeidsmetode som forfatterne vil studere nærmere og få mer innsikt i. Vi vil gjennom dette studiet vise til mulighetene som skiftningen skaper, og hvordan den kan anvendes på det undersøkte objektet, som er sør- vest hjørnet i tårnkonstruksjonen.

For å finne en løsning på problemstillingen vil forfatterne rekonstruere det vindskeive hjørnet på et tegnebrett og på oppslagsplan.

### Avgrensninger

Vi kommer til å ha hovedfokus på hjørnekonstruksjonen og kan desverre ikke gå nærmere inn på hele tårnkonstruksjonen. Dette ville tydelig sprengt omfanget av denne oppgaven.

Vi har tatt utgangspunkt for undersøkelsene våre på murkronen. Det vil si underkanten av svillene. Sperrere fortsetter utover det, men denne delen var ikke tilgjengelig under oppmåling.

I vårt litteraturstudie ser vi kun på norsk og tysk litteratur. Vi er klar over at mengden av litteraturen i faget skiftning er mye større, men også her ville det overgå omfanget av oppgaven. Det samme gjelder den grunnleggende forklaringen av faget skiftning.

Forfatterne av denne oppgaven ønsker ikke å rekonstruere den opprinnelige byggeprosessen. Dette ligger utenfor omfanget av oppgaven. Det ville kreve flere forsøk i fullskala for å finne en korrekt utførelse.

Material:

For å redegjøre hvordan tårnkonstruksjonen har blitt bygget eller hvordan man kan løse problemet med skiftning, har vi anvendt material fra forskjellige områder: den aktuelle tårnkonstruksjonen, lignende bygninger, litteratur om skiftning, historiske dokumenter, tradisjonsbærer og håndverkere.

Metoder:

Forfatterne kommer til å utføre en nøyaktig oppmåling og dokumentasjon av den omtalte konstruksjonen. Vi skal lete etter spor i konstruksjonen som håndverkerne har etterlatt seg.

Vi kommer til å sette søkelyset spesielt på litteraturstudie vårt.

Deretter skal det gjøres noen praktiske forsøk for å kunne sammenligne teori og praksis. Dette skal gi mer informasjon om en mulig fremgangsmåte under tilvirkningen av konstruksjonsdelene i tårnet.

Det er dette som kommer til å utgjøre hoveddelen av våre undersøkelser.



## 2. Material

For å redegjøre for hvordan tårnkonstruksjonen ble bygget eller hvordan en kan løse problemet med skiftning, er det viktig å samle inn nok materiell i tårnkonstruksjon, litteraturen og historien.

### 2.1 Konstruksjonen

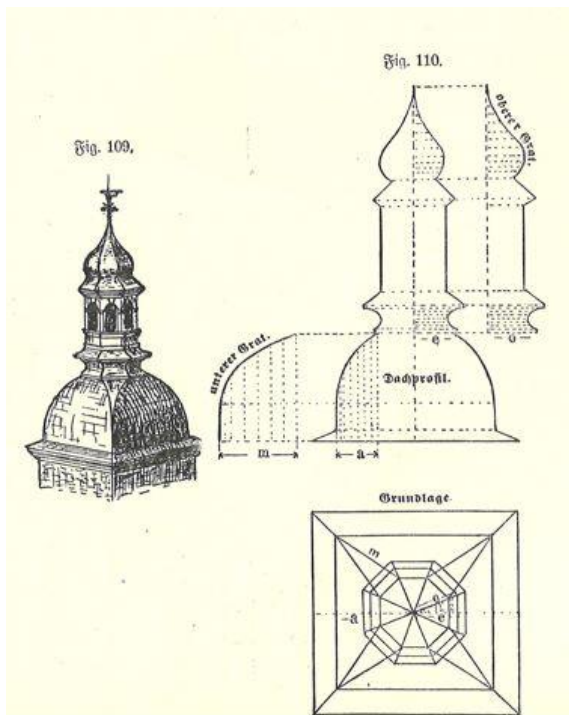
Vi har konsentrert oss om Domkirken i Bergen for å måle opp, dokumentere og danne grunnlaget for rapporten vår. Alle tegningene og arbeidsforsøk baserer seg på målene og utformingen i Domkirken.

Selve oppmålingen og tegningene finner en beskrevet under metode i kapittel 4.

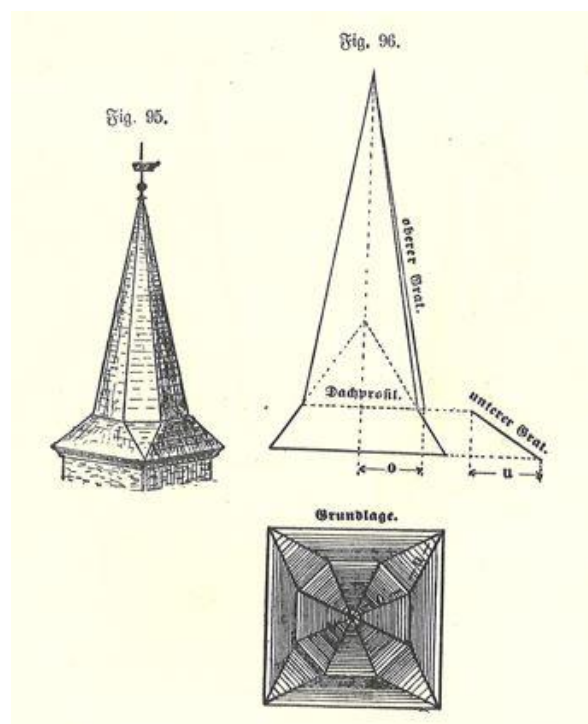
Vi har leitet etter verktøyspor og annen informasjon som kan hjelpe oss med å forstå konstruksjonen og hvordan den er bygget.

#### Andre bygninger

Vridde takflater finner vi sjelden, og det innebærer at det ikke finnes så mange sammenlignbare objekter. Vi har prøvd å finne lignende objekter, men har kun funnet 2 kirker i Tyskland som vi reelt kan sammenligne med Domkirketårnet. Disse kirkene står i Ruethen i nærheten av Paderborn og i Bad Frankenhausen. En befaring var ikke mulig på grunn av den pågående pandemien. En slik befaring hadde gitt en ytterlig dimensjon til undersøkelsen, og kan være interessant i fremtidige studier.



Bilde 13 G. Wolf, 1925, S. 15



Bilde 14 G. Wolf, 1925, s.14

Sjeldenheten gjør det vanskelig å finne beskrivende litteraturen. Vi har ikke funnet noen beskrivelser av takformen i litteraturen vi har studert. De fleste tårntakkonstruksjonene håndterer overgangen fra firkant til åttekant med to gradsperrer for å danne rette linjer og rette takflater. Dette forenkler det videre arbeid med takflatene, både når det gjelder undertak og taktekingen. I bildene 13 og 14 på side 21 ser vi hvordan takflatene blir rette med 2 gradsperrer.

## Tårnet

Domkirketårnet er en blanding av ideer for et rundt tak og et vanlig firkantttårn med valm og vi kan anta at takformen skal antyde avrundede hjørner. Vi synes takformen er veldig fin, men byr på utfordringer som en i idèprosessen kanskje ikke var klar over. En «avrundning» av hjørnene innebærer at taktekingen må følge disse vindskeive formene.

Etter befaringsene på objektet kan vi se at alle konstruksjonsdelene som ligger parallelt eller i 90 graders vinkel til takfoten er presist utarbeidet. Konstruksjonsdelene i hjørnene, hvor vi finner vridningen, er ikke sammenlignbare. Her er delene tilpasset med forskjellig avstand og vinkling.

For å finne ut hvorfor det er sånn, gjorde vi oss noen tanker om hvordan konstruksjonen er bygget opp og hva en logisk fremgangsmåte kunne være. Vi har ved hjelp av Ulrik Hjort Lassen laget en 3D-modell i Google SketchUp som viser det mest sannsynlige forløpe under byggingen av tårnet. En finner «trinn for trinn»- modellen som vedlegg nr. 5 til rapporten.

Vi har kommet frem til, at antagelig enten skiftning eller en praktisk tilnærming med lekter og oppmerking med klosser kunne være relevante metoder for å utføre dette arbeide. Derfor skal det bygges en modell i M 1:2 for å kunne sammenligne disse praktiske arbeidsprosessene. Vi anvende en metode på enhver side av hjørnmodellen.

### 1 - Skiftning.

Skiftning er et grunnleggende element i teori og praksis for tømmer i tømmerhåndverket. Over flere hundre år har denne metoden blitt brukt for å tegne og bygge takkonstruksjoner. Takkonstruksjonen blir slått opp på en avbindningsplass. Her blir alle delene og forbindelsene i konstruksjonen tegnet og overført på utgangsmaterialet. Alle delene blir ferdig tilvirket på bakken eller oppslagsplan for å så blir reist i høyden.

## 2 – Praktisk tilnærming.

En annen mulighet er en mer praktisk tilnærming hvor konturene av taket blir overført med lekter og merket av med hjelp av avstandsklosser.

Her vil vi ikke gå lengre inn på undersøkelsene rund de forskjellige antagelsene. Vi gir en utdypende beskrivelse av disse tilnærmingene i kapitel «Metoder».

### 2.2 Litteraturstudier

I vår litteraturstudie har vi tatt med i betraktning både bøker fra Norge og det europeiske utlandet. Det skal sies at vi har lagt mest vekt på takgeometrie/ skiftning.

I all den undersøkte litteraturen, fant vi ingen lignende utforming av en takkonstruksjon. Vi fant ingen beskrivelse av fremgangsmåten ved vridning på 45 grader fra firkant til åttekant i takkonstruksjoner. Vi måtte dykke mye dypere i litteraturen for å finne sammenlignbare tegninger og beskrivelser som vi kunne relatere til oppgaven.

Med vår bakgrunn i oppvekst og skoling i Tyskland, hadde vi et godt utgangspunkt for å kunne tolke litteraturen fra det tyske språkkrommet. Bruken av tysk litteratur kan begrunnes med at den norske måten å skifte på, er veldig lik den tyske måten. Innflytelsen fra de tyske Hanseatene er veldig sterk, spesielt i Bergen. En av de første bøkene, som omhandler temaet ble publisert i 1731. Det var Johannes Schuebler som lagte en første samling av fagkunnskap rundt tømmerfaget. I denne boken blir også skiftning første gangen beskrevet. Kunsten å «skifte» er nok mye eldre.

Vi synes det var viktig å se på eldre litteratur. Faget skiftning har utviklet seg over lang tid. Vi har funnet avhandlinger om projeksjonstegning tilbake til 1525. Forskingen i faget bygger på det andre har gjort før oss. Derfor var det naturlig for oss å undersøke kunnskapen i faget lengre bak i tid.

I kapitel «Metoder» går vi nærmere inn på den historiske utviklingen i tømmerfaget og fagkunnskapen.

Etter alle innsamlete informasjoner og detaljene rund konstruksjonen og med de liturgiske kildene som ble støttet av forskjellige intervjuer med håndverker og tradisjonsbærer i tømmerfaget, kunne vi fordype oss videre i denne oppgaven. Vi skulle nå finne ut av de forskjellige metodene i skiftning, skråtegning og en praktisk tilnærming. Alt dette etter en grundig dokumentasjon og oppmåling av sør-vest hjørnet i tårnet.

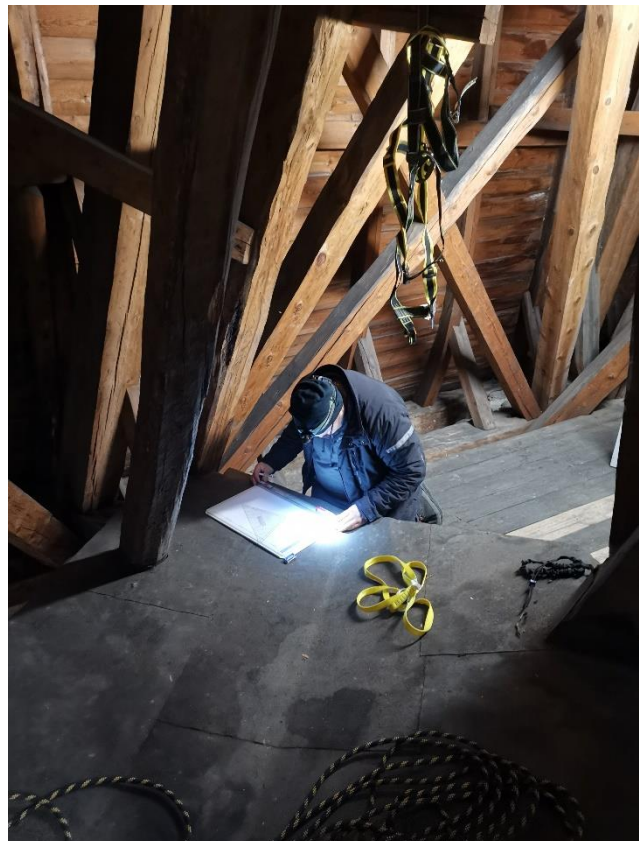
### 3. Metoder

Grunnleggende for alt arbeid videre var en befaring og en grundig dokumentasjon av det valgte tårnhjørne. For å kunne oppnå sammenlignbare resultater måtte vi opprettholde en viss form for nøyaktighet. Selv om målet ikke var å lage en nøyaktig kopi, skulle resultatene kunne brukes til sammenligning med originalen i tårnet.

I 2. delen av kapitelet ser vi nærmere på temaet skiftning. Vi prøver å forklare hva skiftning er og hvordan vi vil bruke den. Det granskes et utvalg av faglitteraturen tilbake til 1525 for å se på utviklingen i faget, og for å garantere en viss bredde i den undersøkte litteraturen.

#### 3.1 Oppmåling og dokumentasjon

Under oppmålingen tok vi i bruk en del hjelpemidler som streklaser, loddsnor, vater, avstandsmåler, vinkler, lykt og meterstokk/tomstokk. Disse er nyttig for å kunne ta eksakte mål og kvalitetssikre arbeidet. Vi satt opp en rekke med streklaser for å kunne danne referanselinjer, både vertikalt og horisontalt. Denne typen moderne hjelpemidler forenkler prosessen med dokumentasjonen, slik at man kan gjøre det på en nøyaktig og effektiv måte. Vi brukte tegnebrettet for å arkivere og dokumentere funnene våre. Vi tegnet grunnrisset og profilen av hjørnet, og med et kamera ble det tatt bilder av forskjellige detaljer i konstruksjonen. For vår egen sikkerhet brukte vi en fallsikringssele mens vi klatret i konstruksjonen. HMS er viktig, også under dokumentasjonsarbeidet.

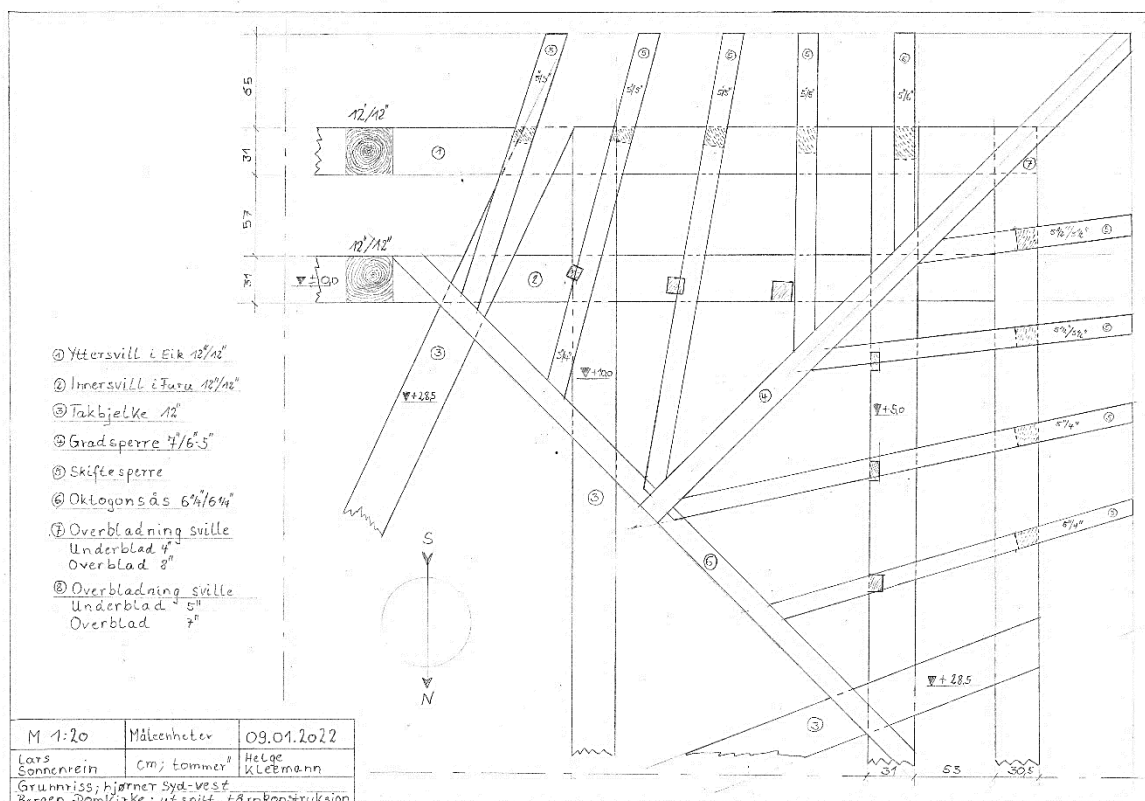


Bilde15 Lars Sonnenrein under dokumentasjonen av tårnkonstruksjonen, Foto Helge Kleemann

Alle målene som ble dokumentert og senere brukt til å lage plantegninger og projeksjonstegninger ved hjelp av skiftningsmetoden. Dette var et grunnleggende utgangspunkt for å kunne bygge de planlagte modellene i M 1:5 og M 1:2.

Hjørnet mot sør-vest består av en gradspærre som blir dannet av en under- og overgradspærre. Undergradspærren støtter seg på det indre hjørnet, der innersvillene krysser, og går opp mot åttekantåsén. Den øvre gradspærren er felt inn i yttersvillkrysset på ytre delen av svillen og smyer seg på undergradspærren cirka 3,0m ifra takfoten. Mot gradspærren smyer det seg 3stk. skiftespærre på hver side. 2 stk. støtter seg med en loddsnitt mot gradspærren, mens den lengste sitter på åttekantåsén og smyer seg i tillegg med en loddsnitt på gradspærren.

På grunn av vridningen i takflaten danner spærrene en buet form. På noen av spærrene er over- og underkanten hugget i fasong. Noen av spærrene (skiftespærrene) ligger kantet i takflaten. På denne måten kunne man utnytte mer av den opprinnelige overflaten på spærrene. Spærrene beholder mer material og svekkes ikke så mye under avkantingen. Det danner et bedre utgangspunkt for å bære taklasten. Alle disse spærrene er hugget med øks og er i furu. Spærrene sitter i et hakk i ytresvillen og er sikret med store smiddspiker. Der skiftespærrene sitter med en lodd smyge mot gradspærrene bli også de festet med smidd spiker. På takkonstruksjon, ligger det takbord med overfals som er omtrent 36-50mm tykk. Takbordene er spikret fast med spiker og ligger i et slags vifteform på spærrekonstruksjon. Bordene ligger med rot- topp avsmalning, hvor rot-enden ligger på gradspærren.

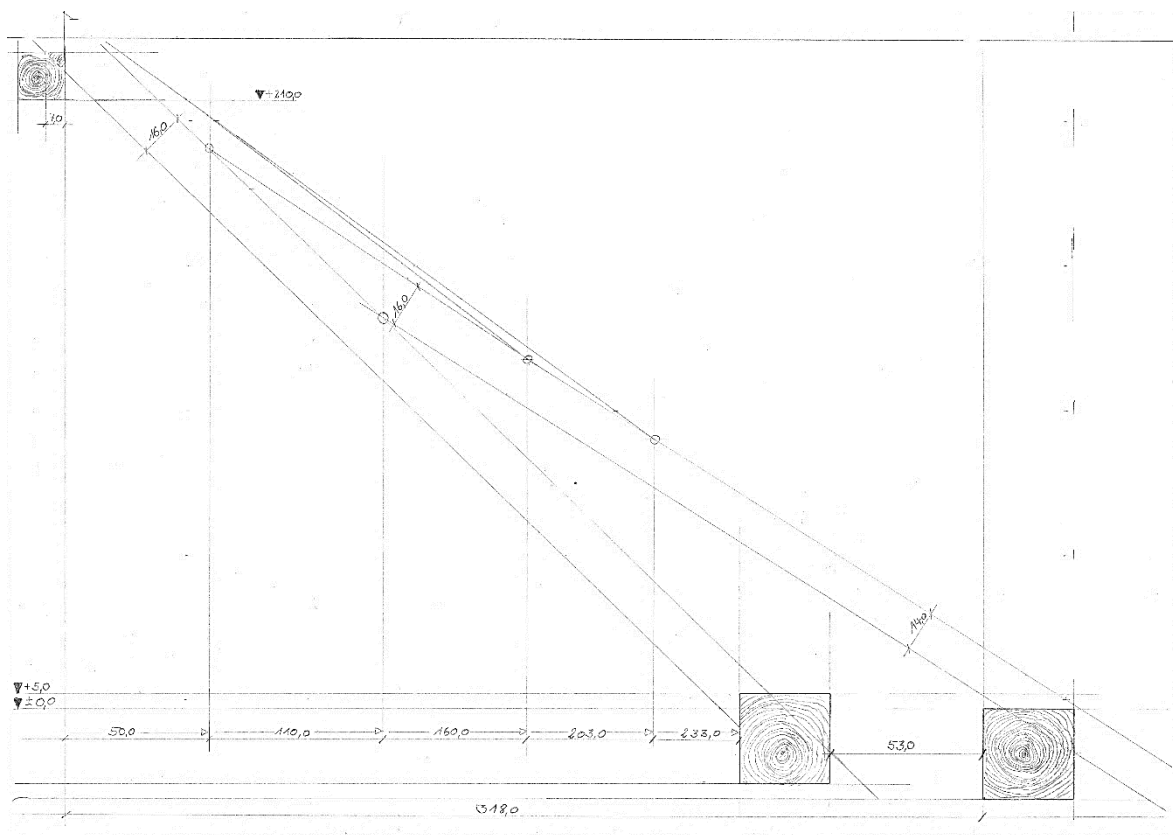


Bilde 16 Grunnplan- Dette er oppmålingstegningene som vi lagde etter befaringen i Domkirketårnet. En ser svillene og spærrestrukturen. Gradspærre og (åttekant)ås. Denne tegningen var i all hovedsak utgangspunkt for alle etterfølgende tegninger og modellene våre. Tegning: Lars Sonnenrein

På denne måten er det mulig å følge vifteformen på den vridde takflaten. Vridningen fra firkant til åttekant har en vinkel på 45 grader.

På murkronen ligger det 2 stk. bunnsviller. Inner- og yttersvillen følger den indre og ytre murkanten og ligger i avstand på cirka 53cm til hverandre. Svillene har et tverrsnitt på 12,5"x 12,5" (32x32cm) og er av forskjellige treslag. Yttersvillen er i eik og den indre er i furu. Det kan ha den begrunnelse at den ytre svillen er mer utsatt for fukt, som eventuelt kan komme fra utsiden av taket.

Under svillene, imellom trevirke og stein på ringmuren, ligger det bjørkenever til å beskytte trevirke mot eventuelle fukt som kan oppstå i ringmuren. De ytre svillene ligger med en avbladning på 4" og



Bilde 17 Oppmålingstegning av gradsperran i M 1:20. Senere fant vi en feil i denne tegningen. Svillene er ikke tegnet i 45 graders vinkel. Dvs. at svillene blir bredere i diagonalen. Tegning Lars Sonnenrein

8" i hjørnene. De innerste svillene har i tillegg en høydeforskjell til ytre svill. Svill mot vest ligger 3" høyre enn svill mot sør. Fra ytre til innerste svill er det en høydeforskjell fra 2". Den delen av tårntaket som buer seg opp fra murkronen som er firkantet og opp mot den stående åttekanten, kaller vi for nedre tårnhjelm i Domkirken. Øvre tårnhjelm har tilsvarende buet form, men er kun åttekantet, og sitter øverst på den stående åttekanten. I midten av hjørnet i firkanten, ligger det en «gradsperre» som kviler på yttersvillene og støtter seg på en «under-gradsperre», som kviler med et

hakk på indre bunnsvillene. Denne gradsperran går opp til åttekantåsen med et hakk i åsen og en loddsnitt på høyeste punkt av gradsperran.

Gradsperrane har et tverrsnitt fra sirka 7"x 6" og 7"x 5" som varierer litt fra «takfot» til topp. Til venstre og høyre side av gradsperran, det vil si mot hovedtaket, blir det tildelt 4stk. skiftesperre på hver side.

Sperrene er plassert i tilfeldige avstander og vinkler til hverandre. Vanligvis har sperrene og skiftesperrene like avstander til hverandre i en takkonstruksjon. Det er ikke en fast regel, men i forbindelsen med produksjon og kapping en typisk måte å gjøre det på. I tillegg er det lettere og mer vanlig å plassere sperrene/ skiftesperrene vinkelrett til bunnsvillene. Dette er ofte en indikator for at disse konstruksjonsdeler og elementer monteres loddrett til ytre kantene av emne. Skiftesperrene i tårnet ligger vridd og kantet i takflaten og har forskjellige tverrsnitt, som varierer fra 5"x 3" til 5,5"x 6". Alle disse skiftesperrer blir støttet av stendere i 4" som står innfelt på innersvillene.

«Dette er en avgjørende faktor i betraktningene rundt en sannsynlig byggemåte. Det er i teorien utelukket at en, ved en tegnerisk løsning, plasserer sperrene på denne måten.» *(Våre betraktninger)*

Ved en tegnerisk løsning hadde sperrene lagt i en mer systematisk ordning. Sperrene hadde ikke lagt vridd eller kantet i takflaten. Et tegnet oppslag baserer seg som oftest på lodd og vater som referanser. Dette finner vi ikke i tårnhjørnene.

I tårnet utgjør gradsperran hjørnene av firkanten.

Gradsperran sitter ved takfoten på ytre sville på hjørnepunktet og strekker seg opp mot den i 45 grad vinklede åttekantåsen i en høyde på 2,35 m. Til venstre og høyre side av dem, befinner seg takflaten vi skal belyse nærmere og vi er mest interessert i. Takflaten i tårnet på hver side av dette hjørne, består egentlig av tre takflater.



Bilde18 Den originale hjørnekonstruksjonen, Bildet viser hjørne i Sørøst, Foto: Øystein Mortensen

Takflate 1. starter ved takfoten i den firkantete grunnlinjen og går oppover langs gradspærren, mot takhjelm.

Takflate 2. kommer ned fra tårnhjelmen som ligger i 45 graders vinkel til hjørne i grunn og skjærer gjennom takflate 1.

Takflate 3. begynner ved sekundærgradspærren og følger langs med takfoten mot hovedgradspærren og skjærer/ krysser gjennom de andre takflatene. Her danner seg en skjæringslinje som forbinder disse 3 takflatene.

Disse takflatene danner den vridde og buet takform og forbinder firkant med åttekanten som ligger imellom hovedgradspærre og en sekundærgradspærre. Sekundærgradspærren sitter på yttersvillen i hovedtaket langs med den firkantete grunnflaten av takkonstruksjonen og lenger imot åttekantåsen. Det er skjæringspunktet, der taket vinkler mot gradspærren i 45 grad, mellom hovedtak og sidetak på nivået der åttekantåsen ligger. Sekundærgradspærre er også startpunkt av hoved- og sidetak. Her er overgangen som forbinder hovedtaket med sidetak som avslutter på gradspærren. I hovedtaket imellom sekundærgradspærrene sitter profilsperrene som går ifra ytre sville opp over åttekantåsen og videre i buet takform (hjelm) mot tårnets lanterne.



*Bilde 18 Vridning fra takfoten til åttekanten. Foto Akasia*



### 3.2 Spor i konstruksjonen

Når tårnkonstruksjonen ble bygd var den mest sannsynlig konstruert og tegnet i målestokk 1:1 på avbindningsplass. For å finne ut om hele tårnkonstruksjon ble produsert på denne måten på avbindningsplassen, er det viktig at vi kan lese spor og vurdere konstruksjonsdelene.

Etter en befaring, med spesielt søkelys på merkinger på konstruksjonsdelene i tårnet, fant vi nokså lite spor av merkinger. Vi så spesielt etter merkinger med «rissenål» eller «blyant», dessverre med lite suksess. Det vi oppdaget var at alle detaljer, som

sammenføyninger, skøyter og

snittkanter, er så nøye kappet og hugget til, at en får en mistanke om at hele tårnet ble laget ferdig på avbindningsplassen. De merkingene vi har sett, er merker som ble hugget med stemjern. De finner vi kun i hovedsøylene/ stavene og i noen takbjelker lenger opp i tårnet og i klokkestolkonstruksjonen lenger nede. På andre steder i tårnet, var det tydelig tegn på ombygginger og restaureringsarbeid. Der finner en noen merkinger med blyant og rissenål.

Men ikke ved hjørnet vi skal belyse i denne oppgaven. Rund 1700-tallet når tårnet ble bygget, slik vi ser det i dag, var det nok så lite utbredd at alle tømmer eller byggmester hadde en blyant.

Oppmerkingen skjedde ved hjelp av rissenål eller en annet type spiss eller kvass gjenstand.



*Bilde 19 Merking av sperrehakk med blyant. en av få merkinger i konstruksjonen, Foto: Lars Sonnenrein*



Bilde 20 Avbindningsplass rund 1500tallet, byggmesterne og tømrrersvenner i arbeid



Bilde 21 Avbindningsplass rund 1500tallet, byggmesterne og tømrrersvenner i arbeid, tresnitt 1516

### 3.3 Skiftning i tømrrerfaget

I dette kapitlet skal vi se nærmere på hva temaet skiftning inneholder, og dens historiske utvikling. Vi anser det som viktig å vise til utviklingen i faget som strekker seg over mange hundre år. Både i litteraturen og i det praktiske arbeidet. En skal få et inntrykk av omfanget i faget. Vi vil forklare hvilke metoder innenfor skiftning som finner bruk i arbeidet videre.

Hva er skiftning?

Den korteste definisjonen av skiftning fant vi i boken «Yrkeslære for tømrrere» (Nielsen, 1941, S.134)

«Konstruksjoner med sammenskjærende tak»

En annen forklaring finner vi i boken «Handbok for byggmester og bygningstømrrer» (Michelsen, 1946, S. 80)

«Det å bestemme de forskjellige lengder og former for tømmerdelene i et takverk, såsom rygg- (grat), rende- (kil), og vekselsperrer (skiftesperrer), kalles for skiftning (utskiftning).»

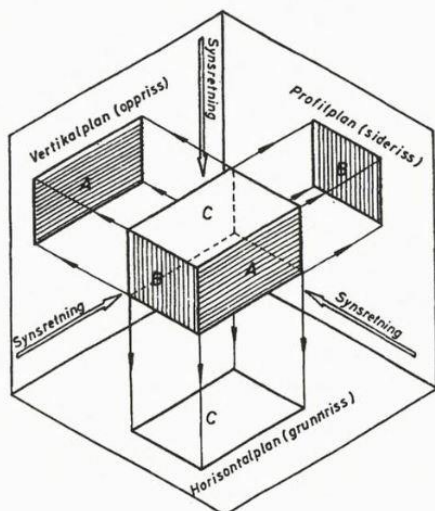
Takgeometri blir i fagspråket kalt «Skiftning» eller «Projeksjonstegning», og er en gammel kunst med opprinnelse i «geometrien» og «stereometrien». Skiftning er en arbeidsmetode og arbeidsprosess for tømmer eller fagkyndig håndverkere, som skal bygge et tak eller tårnkonstruksjon. Ved skiftning skal alle reelle størrelser og lengder av konstruksjonsdelene bli bestemt. For å kunne kappe til og forbinde alle konstruksjonsdelene, er det essensielt å utføre skiftningsarbeidet etter gitte regler. Med det som grunnlaget skal alle takflatene og alle enkelte elementene passe nøyaktig sammen. Alt arbeid som hører til denne prosessen bli betegnet som «skiftning».

## Projeksjonstegning

### Projeksjon

En projeksjon er et bilde av en gjenstand tegnet på en plan flate. Tegnearbeidet består i å *projisere* (overføre) punkter på gjenstanden til tegneplanet eller fra ett plan til et annet.

Hensikten med projeksjonstegningen er å kunne vise en gjenstand sett i forskjellige synsretninger. Ved projiseringen tenker vi oss at punktene beskriver rette, parallelle linjer som går vinkelrett (normalt) mot tegneplanet. Derfor bruker vi betegnelsen *rettvinklet parallellprojeksjon*.

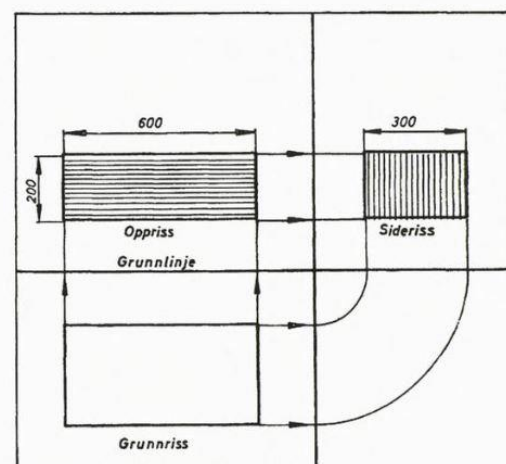


Figur 66 Rettvinklet parallellprojeksjon

### Projeksjonsmetoden

For å forklare tegnemethoden kan vi tenke oss at gjenstanden vi skal tegne, er omgitt av plan som står vinkelrett på hverandre – på samme måten som golv, tak og vegger i et rom. Golvet og taket er *horisontale plan*. Veggene er *vertikale plan*. Vår synsretning mot gjenstanden skal være horisontal eller vertikal og alltid danne en rett vinkel med projeksjonsplanet som ligger bak gjenstanden.

Figur 66 forklarer framgangsmåten. Vi forestiller oss at vi er inne i et rom og ser



Tradisjonelt er skiftning «å avbinde» på et oppslagsplan. Det betyr å streke riss eller linjer på et plant gulv, ofte et slett tregulv. Ved hjelp av et rettholt eller med snor (kriddsnor, sotsnor) ble plantegning, takprofilen eller sperreprofilen «snoret» eller «avbundet» på gulvet.

Man projiserer og tegner så en byggeplan i målestokk M1:1 (eller som ønsket) for å redegjøre for alle bygningsdeler. For eksempel svillene, sperrene, grad- eller kilsperre blir snoret opp på avbindningsplassen. En får nå alle tilgjengelige mål, lengder og vinkler og deres sammenføringer. Nå kan konstruksjonsdelene produseres og etterpå monteres. Det er det en tømmer snakker om når han snakker om «avbinding», å risse opp, kappe til og utarbeide emner til takstolen.

Skiftning kan også betegnes som en arbeidsprosess *eller* metode, som viser konstruksjonsdelene (bjelke, sperr, veksler) og deres akser, som krysser hverandre i forskjellige vinkel og hellinger.

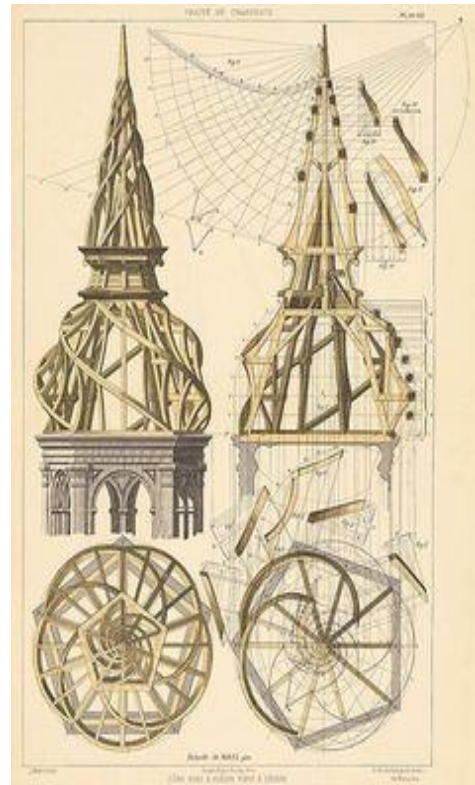
Forklaring etter Franz Stade, Holzkonstruktionen 1904:

*«Die Schiftung» - Sollen Hölzer, deren Achsen sich unter beliebigen Winkel kreuzen, welche also in verschiedenen Ebenen zu einandergeneigt liegen, ohne besondere Ausschnitte, sondern lediglich durch Nagelung fest miteinander verbunden werden, so müssen diejenigen schrägen Schnittflächen bestimmt werden, mit welchen sie sich genau aneinander anschmiegen, welche Arbeit man das Schiften und welche Verknüpfungen man die Schiftung oder die Anschiftung nennt.*

(Franz Stade, Die Holzkonstruktionen 1904. S.23)

Han beskriver det slik at, når konstruksjonsbjelker krysser hverandre i forskjellige vinkler og noen av disse ligger i forskjellige høyder, må en utarbeide spesielle skrå kappede flater, som passer perfekt til hverandre. Selve arbeidsprosessen og metoden en må anvende blir betegnet som skiftning.

Takplanen inneholder utformingen og tilpasningen av takets vinkler og former i forhold til bygningens grunnriss. En finner den ideelle, ikke minst faglig riktige, løsningen for takets skjæringslinjer, og kan etterpå fortsette med tegning i skiftningen. Skiftning er å kunne tegne tak i forskjellige plan (grunnplan, profilplan og snitt) for å få alle reelle målene som man trenger til å kunne konstruerer for eksempel tak eller tårnkonstruksjoner. Disse tegningene gir tømmereren all nødvendig informasjon for å kunne tilvirke alle deler av konstruksjonen. Med enkle matematiske og geometriske projeksjoner kan en vise alle deler og finne ut alle lengder og forbindelser.



Bilde 23 Tegning av en vridd tårnkonstruksjon

### Historie og utvikling av skiftning i lærebøkene

I dagens samfunn er all informasjon lett og overalt tilgjengelig. Før i tiden var det bare sted til sted, og munn til munn videreformidling av nyheter og informasjoner. Det var håndverkeren som var ansvarlig for videreformidling av fagkunnskapen til den neste generasjonen. Men mye gikk tapt eller ble forandret underveis. Det oppstod et virvar av flere forskjellige teorier som ble prøvd og utført i praksis. Noen med gode resultater og andre med misnøye og tap. Det samme gjaldt også fagkunnskapen i tømmeryrket.

Middelalderen rundt 13. århundret blir allment regnet som storhetstiden for faget i bygningshistoriskere kretser i Sentral-Europa. Før tømmerlaugene ble dannet og tømmer fikk status som yrket, var enhver som hadde bygget ett hus, en tømmer.

Med organiseringer og dannelser av «laugene» (håndverksorganisasjoner) i Europa spesielt i byene, vokste også arbeidsteknikkene som skiftning, takplan og skråtegning i faget. En første form for kvalitetssikring i denne tiden. Men allerede i året 1295 ble alle laugsformene forbudt av Erik Magnusson (Anders Frøstrup, 1996). På slutten av 1550-tallet var det bare handverkerne fra den tyske Hansen, en handelsforening, som dominerte de gamle laugene i Bergen rundt Tyskebryggen (Ågotnes, 1997). Deretter ble disse oppløst, og de nye handverkslaugene av norske og danske

håndverker ble dannet. Etter laugsordninger fra slutten av 1500- tallet i Bergen var det krav til håndverkeren om å avlegge en mesterprøve og levere et mesterstykke.

*En «meister» var etter lovverket ein som hadde gjord meisterstykket i faget og løyst borgaskapet.» Dette forutsette godkjenning fra lauset og magistraten. (Ågotnes, 1996)*

På 1920-30 tallet var skiftning hoveddelen av svenneprøven i Norge. Enhver svenn måtte ha kunnskap om takplan og skiftning. I tysktalende land betår den praktiske prøven i tømmerfaget for mester- og svenneprøver fremdeles av skiftning og bygging av en takmodell.

Først i 1701 ble tømmermannslauget opprettet i Bergen, men hadde ikke den vanlige karakteren som de andre handverkslaugene. (Fra handverkar til lønnsarbeider?: Snekkerar og tømmermenn i Bergen 1801-1920, Hans Jakob Ågotnes, 1997).

Arbeidene som husbygging, tømring, lafting, bygg av bindingsverk og bruer, men også trapp, dør og vindussnekring var arbeid en tømmer utførte. I Bergen var det litt annerledes. Tømmeryrket var delt opp i de forskjellige arbeidene som ble utført. Det fant skipstømmer, verftstømmer, bordarbeidermenn, hustømmer, tømmermen og tømmermendsrenger. Når det gjaldt prestisjebygninger som rådhus, laughus, slott og kirker med utfordrerne takformer, ble bygg- eller tømmermester forpliktet til å gjennomføre arbeidene. Slike oppdrag ble gjennomført av laugsordninger. (Ågotnes,1996)

Det var de *hemmelige* arbeidene på avbindingsplassen, for eksempel opprisset på oppslagsplassen og skiftningen av takkonstruksjoner som ble utført av mesteren. Informasjon om disse spesielle arbeidene ble ikke spredd, og ble sjelden videreformidlet til andre tømmer eller byggmester. En av de største hemmelighetene var kanskje at tømmermesteren hadde forpliktet seg til å levere arbeidene feilfritt. Derfor var det sikkert av fordel, å gjennomføre de ofte veldig kompliserte og komplekse arbeidene i første omgang aleine.

Et sitat av arkitekten N. Peder Nielsen fra hans lærebok om skiftning: «Avbinding av takkonstruksjoner og konstruktive forskalingsarbeider» fra 1932 sier:

«Den virkelige fagmann på dette område omgir sig ofte med en viss mystikk, og svarer kun undvikende på direkte spørsmål til ham om hvorledes han gjøre dette eller hint. Dette med at han ikke vil utlevere «knevene» har vel oftest sin grunn i at han i virkeligheten ikke er så helt inne i hvad det er han selv gjør, og som følge derav ikke vil innlate sig på forklaringer, og dette er jo forståelig.»

## Skiftning i Europa

Noen eksempler fra Europa for typiske prestisjebygninger er «Knochenhaueramtshaus» 1529 i Hildesheim (Tyskland), Rådhuset i Werningerode (Tyskland) fra 1420. En annen høytid i tømrerfaget i forbindelse med bygging av takkonstruksjoner nådde de franske tømrmester, *de maitre de charpentier*, på 1900-tallet med sine buete og inn- og over hverandre liggende, vridde og hvelvete takflater. De franske tømmerlaugene er de «Compagnonnage» som ble dannet rundt 1500-tallet.

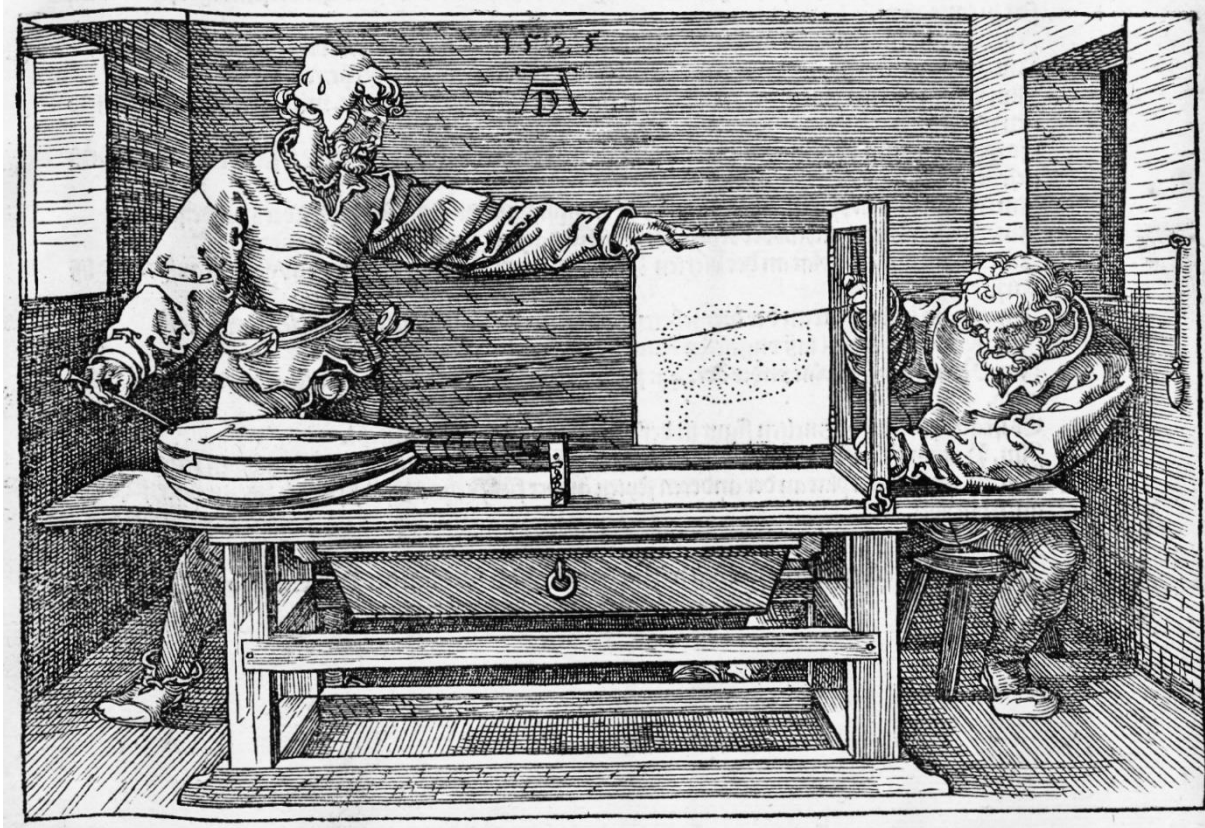


Bilde 24 Knochenhaueramthaus i Hildesheim fra 1529, bilde Wikipedia



Bilde 25 Rådhuset i Wernigerode fra 1420, bilde Wikipedia

Først med trykk av bøkene ble en del av fagkunnskapen dokumentert i skrift, og etter hvert også i tegnet form. I boken fra Albrecht Dürer (født 21.mai 1471 i Nürnberg, Tyskland, død 6.april 1528 samme sted) «*Underweysung der Messung, mit dem Zirkel und Richtscheyt, in Linien unnd gantzen corporen, fra 1525*» beskriver han figurer, kalkuleringer, projiseringer av kropp og flater, og visuelle projeksjoner av objekter i reelle størrelser.



Bilde 26 *Underweysung der Messung, mit dem Zirkel und Richtscheyt, in Linien unnd gantzen corporen fig 001, side 181, Durer 1525*

Johann Jacob Schübler (døpt 21.februar 1689 i Nürnberg, Tyskland, død 11.september 1741 samme sted) skrev en bok om tømrerfaget «*Nützliche Anweisung zur unentbehrlichen Zimmermanns-Kunst fra 1731*». Johann Jacob Schübler var en flersidig utdannet barokkbyggmester, arkitekturteoretiker, forfatter og matematiker. Han beskriver veldig detaljert i prosessbeskrivelser og i tegnede figurer av takkonstruksjoner, fremgangsmåten av skiftning på denne tiden.

Bruk av skiftningen i nåtiden

I dag er det få tømrere i Norge som praktiserer skiftning og har egen erfaring med denne arbeidsmetoden. Når det kreves komplekse og sammensatte takkonstruksjoner, er ofte



takstolfabrikken den eneste veien å gå. Her brukes det dataprogrammer for å få kalkulert, tegnet og produsert takstolkonstruksjoner. Ikke bare fordi det er enklere og mer tidssparende, men også begrunnet i dagens krav om sikkerhet og ansvar ved bygging av statisk bestemte konstruksjoner.

Selv da kan det oppstå problemer under montering av den slags komplekse konstruksjonene. Det mangler en grunnleggende forståelse av oppbyggingen og sammensetningen av denne typen konstruksjon. For 50-60 år siden var skiftning og grunnleggende konstruksjonstegning en del av tømmerens fagutdanning. I dag blir dette temaet så vidt nevnt på noen få sider i lærebøkene.

Spesielt i restaureringsfaget kan det være av fordel å kunne skifte. De fleste skadene, om det er råte eller etter en brann, må repareres forsvarlig. Avbindingsverkene har ikke alltid muligheten til å jobbe med dimensjonene som ble brukt tidligere. Dessuten er konstruksjonene ikke alltid kurant for maskinene. Håndverker som jobber i hverdagen med avbinding av kompliserte takkonstruksjoner, har vunnet anbudet fordi ombyggingen av CNC- maskinene hadde blitt så kostbar at de kunne gjøre det billigere med tradisjonelle metoder. Det er ofte runde eller buete takformer som er mest utfordrende.

De franske Compagnone, Charpentiers du Devoir, og deres metode å skifte, har blitt verdens kulturarv. Den immaterielle kulturarven i kunnskap og historie rund skiftning har blitt tatt opp av UNESCO som spesielt verneverdig i 2009 (Intangible Cultural Heritage, Unesco). Med dagens fremskritt i digitaliseringen er det viktig at vi ta vare på de gamle fagkunnskapene og håndverkstradisjoner. Kunnskapen om skiftning i tømmerfaget trenger ett løft og integrering i yrkesutdanningen igjen. Bare gjennom utøvelse av denne kunsten, ta vi vare på det i fremtiden.

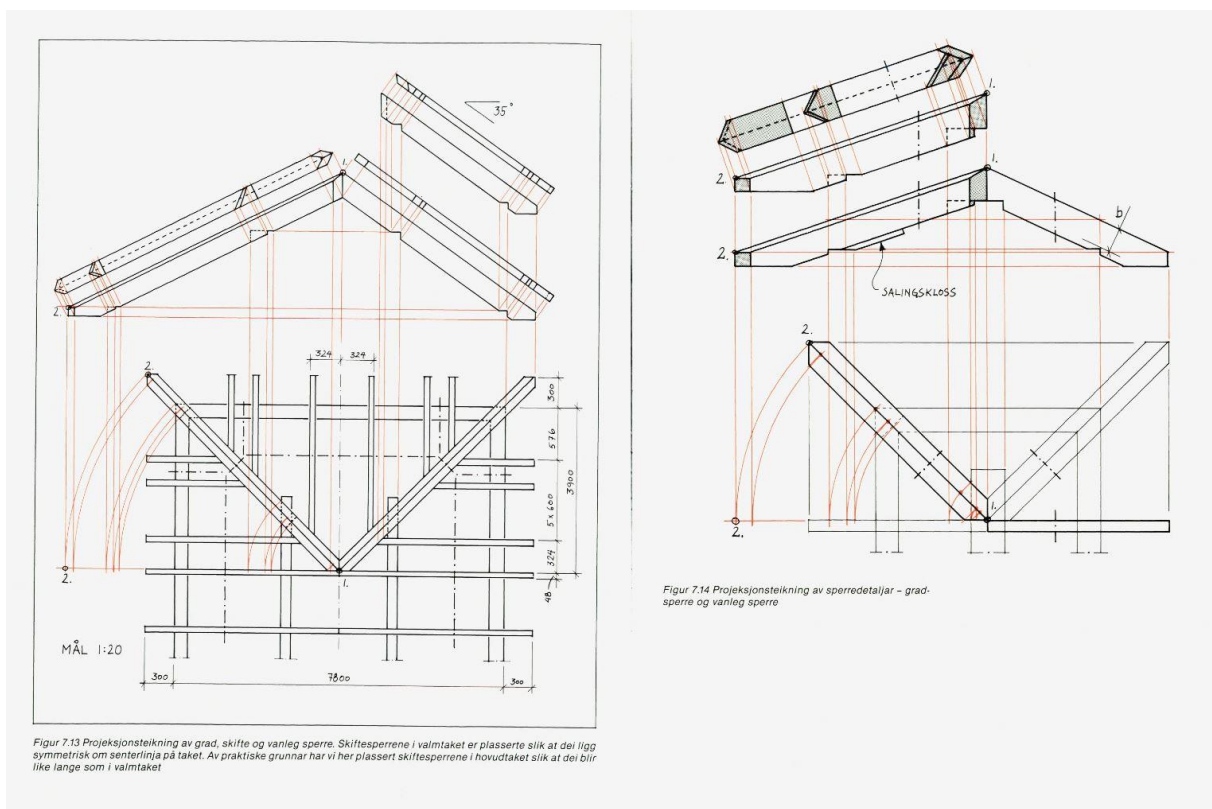
### 3.4 Forskjellige metoder

Ved skiftning ble det i utgangspunktet delt mellom to forskjellige metoder: «profil- eller loddskiftning» og «planskiftning». Planskiftning kalles også for «den nye skiftning» og er individuell brukbar. Når man har en utfordring som en skal gjennomføre, kan man velge mellom 6 forskjellige metoder i planskiftning. Vi vil ikke gå dypere inn i disse metodene, men skal peke ut de vi har brukt, til å gjennomføre vår praktiske oppgave. Det finnes faglitteratur som forklarer de enkelte metodene om en er interessert i å studere disse videre. Ett bok som kan være nyttig til dette er fra Ulrik Hjort Lassen. «The Invisible Tools of a Timber Framer A survey of principles, situations and procedures for marking» (Ulrik Hjort Lassen, Göteborg, 2014) er en fagbok for opplæring i dette faget som beskriver veldig detaljert i tekst og tegninger, hvordan man kan anvende de forskjellige skiftnings metodene i

teori og praksis. I denne oppgaven skal vi belyser nærmere Profil- og loddskiftningsmetode og Planskiftning med høydelinjemetode.

### Profil- eller loddskiftning

«Loddskiftning» blir også kalt «skiftning på oppslagsplan» (Schiftung auf dem Werksatz, tysk). Oppslagsplan betyr at alle vannrette konstruksjonselementer (bjelkelaget som representerer grunnflaten av bygningen) er gitt. Dette gir grunnlaget til å bygge takverk eller andre konstruksjoner. Det kan også ansees som grunnriss. Her kan det nå legges ut konstruksjonsbjelker (sperr) og plasseres slik at sperrene treffer punktet ved takfoten, der bunnsvillene skal plasseres. Det samme gjelder også mønsåsen i takkonstruksjonen. Det sperreparet (sperreprofil) kalles også for «mal» eller «sperremal», «*Lehr-gespärre*» på tysk og er vel den eldste skiftningsmetode. Denne metoden er den som blir mest brukt i praksis og baserer seg på representerende geometri (Takgeometrie) og stiller forskjellige visninger av disse i forhold til dem. (Teodor Böhm, Dresden 1911. Handbuch der Holzkonstruktion des Zimmerers). Andre mer avanserte takkonstruksjoner setter høyere krav til denne skiftningsmetoden. For eksempel valmtak eller takkonstruksjoner med kil- og gradsperre. Her er det nødvendig eller av fordel å forske først bjelkelaget med bord, slik at en få en plan flate til å kunne lage en oppslagsplan. Når man har «grunnriss» og «profilen» (sperreprofil/ gradprofilen), kan man overføre relevante punkter etter reglene.



Bilde 27 Profilsjiftning, Frøstrup, Viestad, Tømmrertegning, 1990, s.108- 109

## Skiftning i plan- «planskiftning»

Å skifte i plan er i motsetningen til profil- eller loddskiftning mer kompleks. Skiftning i plan gir flere muligheter i bruken, og bygger på profil- og loddskiftningen. I

planskiftning bli det ikke bare framstilt grund og profilen, men også de enkelte takflatene bli vippet ut, slik at man får de originale (reelle) størrelsene (i målestokk) visuelt representert. Ut ifra det er det mulig å «avbinde» emner som

ligger vridd/ kantet i grunn og er representert forvrengt. Når en kommer over en takkonstruksjon, en takflate med vridde/ kantete sperr, er det nødvendig at denne takflate bli vippet ut, slik at man ser dens reelle størrelse. Det er viktig at alle emner som blir bestemt med loddskiftning, er allerede projisert i profil. Det er anbefalt å slå ut takflaten i

Albert Müller: Basiswissen

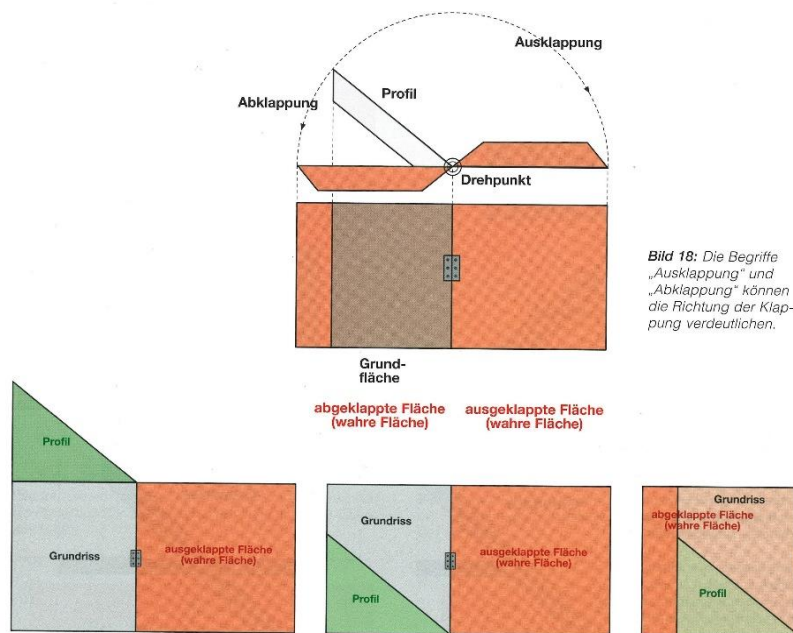


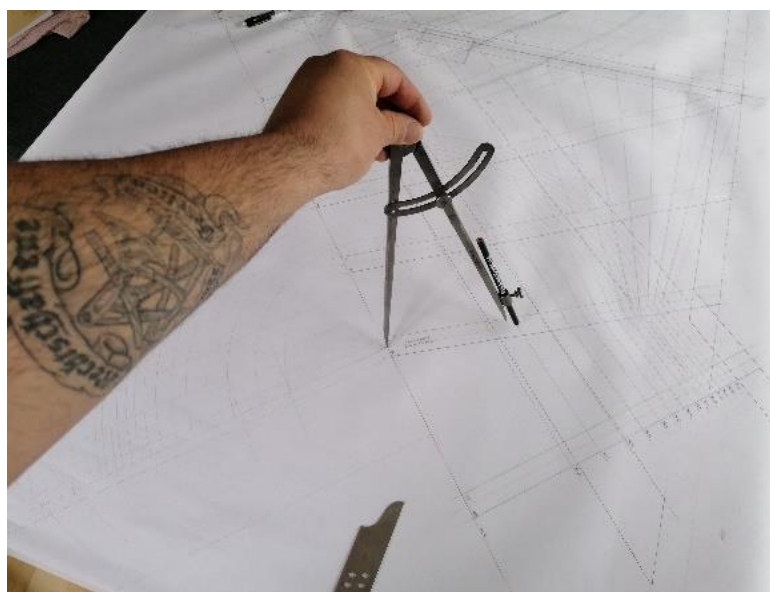
Bild 18: Die Begriffe „Ausklappung“ und „Abklappung“ können die Richtung der Klappung verdeutlichen.

Bild 19: Nicht besonders platzsparend, aber übersichtlich: Die Dachfläche ist ausgeklappt, das Profil unmittelbar an den Grundriss angeschlossen.

Bild 20: Schon etwas platzsparend: Die Dachfläche ist ausgeklappt, das Profil in den Grundriss gezeichnet.

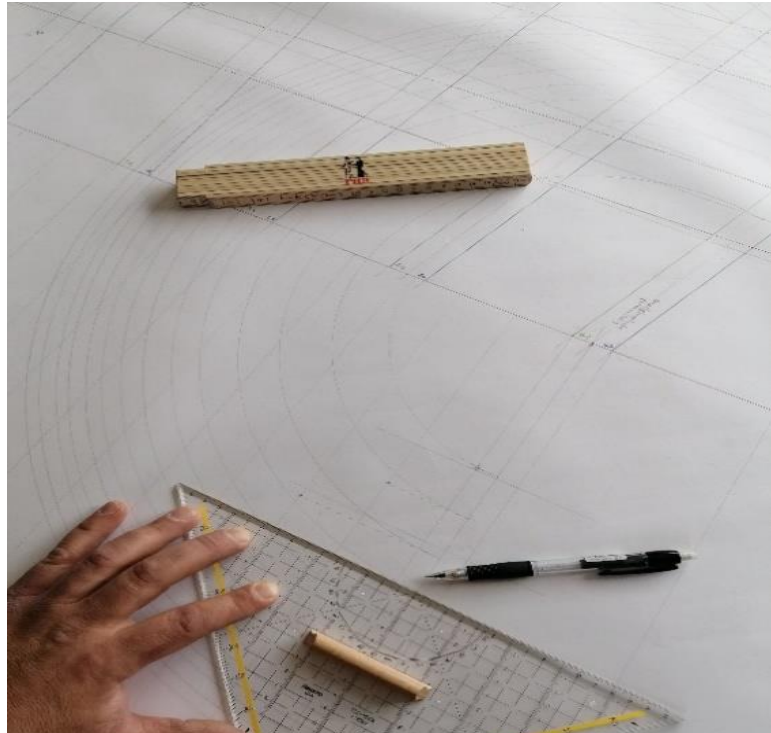
Bild 21: Sehr platzsparend aber wenig übersichtlich: Die Dachfläche ist abgeklappt und „liegt“ auf Grundriss und Profil.

Bilde 28 Bildet viser de forskjellige metodene hvordan en kan plassere plantegningene på oppslagsplassen. Bildet fra boken "Basiswissen Schiftung"



Bilde 29 Arbeid med skiftning på tegnebrett, Foto Lars Sonnenrein

profilen, med utgangspunktet i «fotpunktet». Fotpunktet representerer da en høydelinje. Denne høydelinjen er gitt i alle profiler og er tilgjengelig i oppslagsplan. Det er visuelt lettere å forstå å legge takflaten med aksepunktet på takfoten, i stedet for å legge takflaten med aksen på grad- eller kilspærre. Men begge metoder er mulig å anvende i teori og praksis. For å lage et oppriss er planskiftning litt mer plass krevende, så lenge man ikke projiserer alle profilene over hverandre i grunnrisset. Det kan da raskt oppstår ett virvar av streker og skjæringspunkter og man kan lett miste oversikten. Fordelen er, at det er mulig å vippe ut alle profilene til de enkelte taksidene,



Bilde 30 Arbeid med skiftning på tegnebrett, Foto Lars Sonnenrein

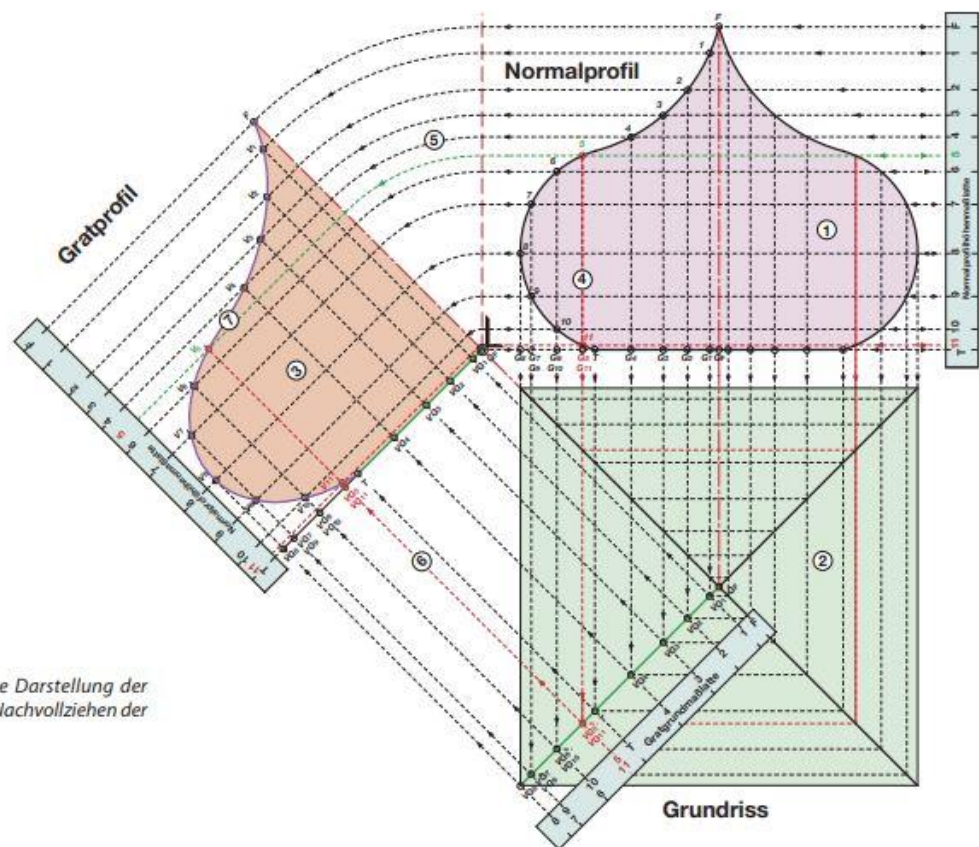
slik at man ikke får en overlapping av disse. Den viktigste regelen ved utførelse av skiftning i plan er, at man alltid overfører alle tilgjengelige punkter imellom grunn og plan vinkelrett til aksens/ snupunkt. Alle punkter på aksens må være gitt og slått fast i grunn. Loddsnittet blir *alltid* i lodd og horisontale linjer bli *alltid* horisontalt.

#### *Bruk av passer*

Det er mulig å overføre avstands og skjæringspunkter med hjelp av en passer. Passeren blir da plassert fast i aksens (utslagspunktet) der man skal legge over emne ifra grunnrisset inn i profilen. Overføring gjør man ved å slå en sirkellinje fra grunnrisset til linjen som starter i aksens og som indikerer høydelinjen. På denne linjen merker man nå av alle overførte punktene. Denne høydelinje er også grunnlinje i profilen. Disse punktene bli nå streket oppover i en rett vinkel til de krysser linjen som indikerer overkanten i profilen, så lenge de er gitt. Om man ikke har en passer, er det også mulig og bruker en liste eller lineal, for å merke avstandsmålene fra grunnen og overføre disse på grunnlinjene i profilen. Det er viktig å si at denne skiftningsmetoden ikke er så lett å gjennomføre i målestokk 1:1. Dette vil kreve en overdimensjonal passer og lister eller lineal med samme lengden som de originale lengde av grunnlinjen i profilen.

I denne kapitlet om planskiftning har vi brukt ordet «høydelinje». Høydelinjer er ofte gitte eller fastsatte punkter i en konstruksjon. Ved bruk av høydelinjer er det mulig å anvende disse på en annen måte innfor skiftningsmetodene. Skiftning etter høydelinjemetoder har til fordel at man kan konstruere og tegne takformer som ikke har rette linjer. I forskjellige perspektiver og projiseringer kan man finne alle nødvendige mål. I neste kapitlet forklarer vi i kortfattet form «skråtegning og linjetegning», Denne metoden representerer skiftning med hjelp av høydelinjer.

### Skråprojeksjon/ Skiftning med høydelinjer



**Bild 8:** Ausführliche Darstellung der Vergatterung zum Nachvollziehen der Zusammenhänge

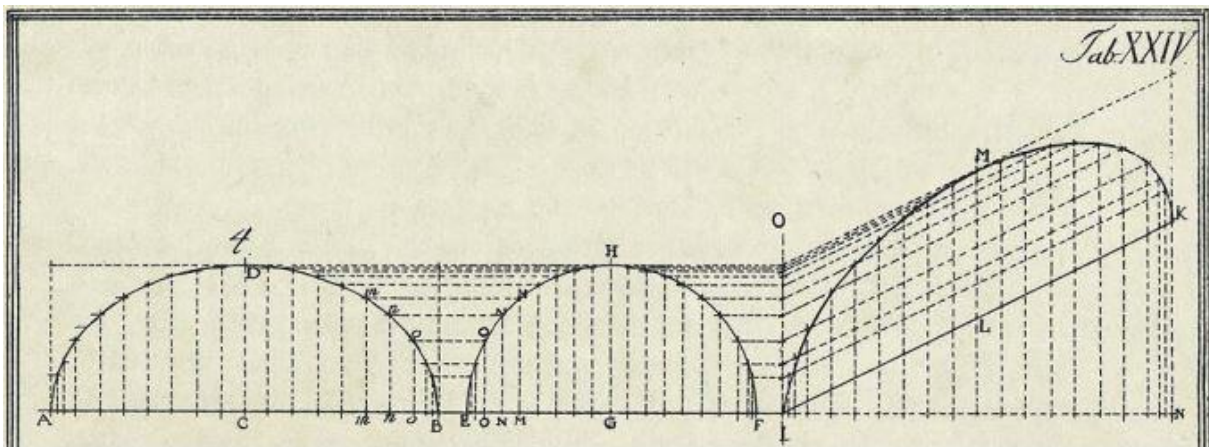
Bilde 31 Skråtegning med kuppelprofil. En ser forskjellen mellom normalprofilen og den lengre og forskjøvet gradprofilen, Peter Kuebler, Basiswissen Veratterung

Skråtegning og linjetegning er i håndverksfaget et spesifikt begrep for tømmer, båtbygger og trappesnekker mm. Håndverkeren forbinde med disse begrepet, en metode til å projisere buete, krummete eller vridde linjer og objekter i forskjellige perspektiver og til forskjellige oppgaver. Tømmer og trappesnekker har anvendt skråtegningsmetoden til å konstruere runde, buete og vridde konstruksjoner i mange hundre år. Som eksempel kan man nevne et krumstykke som en del av frivangen på en vindeltrapp eller håndløperen med buet form.

Båtbyggere bruker uttrykket linjetegning. Metoden ble brukt når geometriske strukturer ikke er begrenset av rette linjer. Med linjetegnings metoden framstiller båtbyggeren spantene, skroget og stevn når båten blir konstruert. Vi har i denne sammenhengen besøkt et kurs hos båtbyggerne. Metoden er nærmere beskrevet i vedlegg nr. 6 men ble ikke anvend i videre forsøksprosessen.

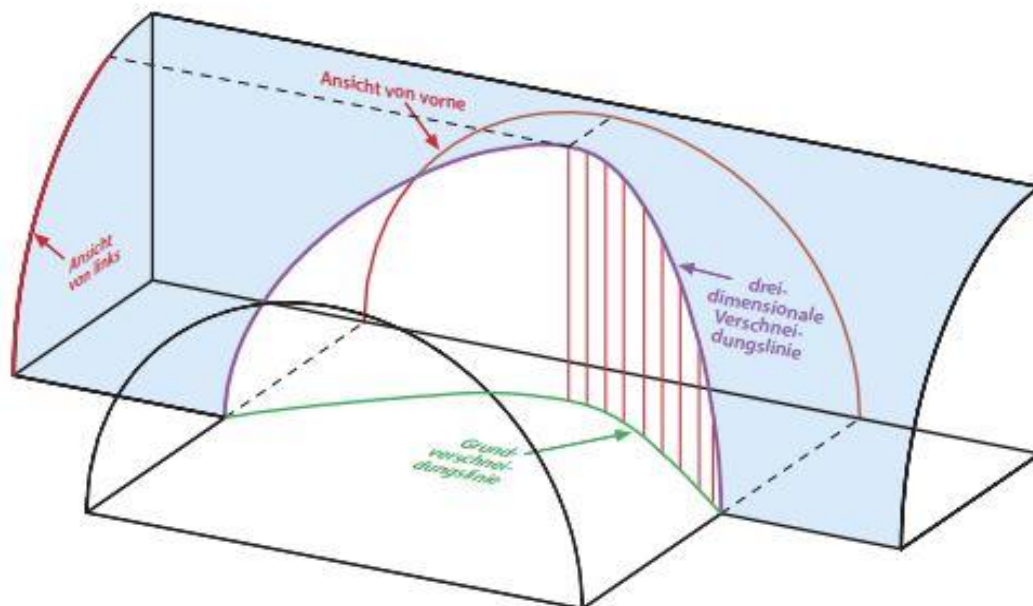
#### Bruk av metoden

- Forvrenging av flate og uregelmessig avgrensede overflater



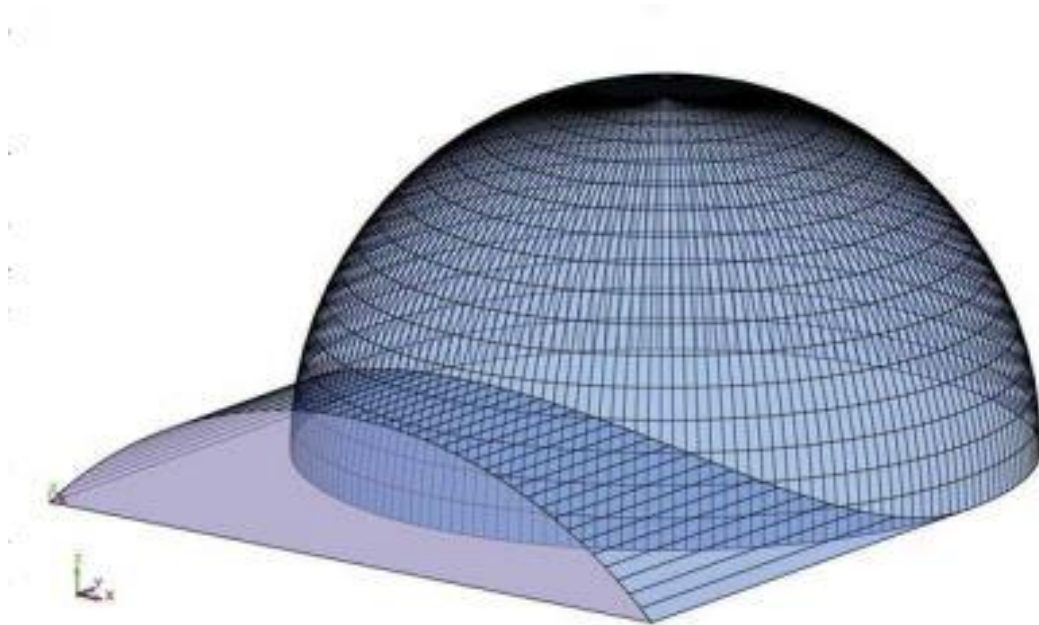
Bilde 32 Strekk og vregning av en rundbue, "Anweisung zur Zimmermannskunst" Christian Gotlob Reuss, 1764

- Prosjeksjon av skjæringslinjer, ved jevnt buete objekter

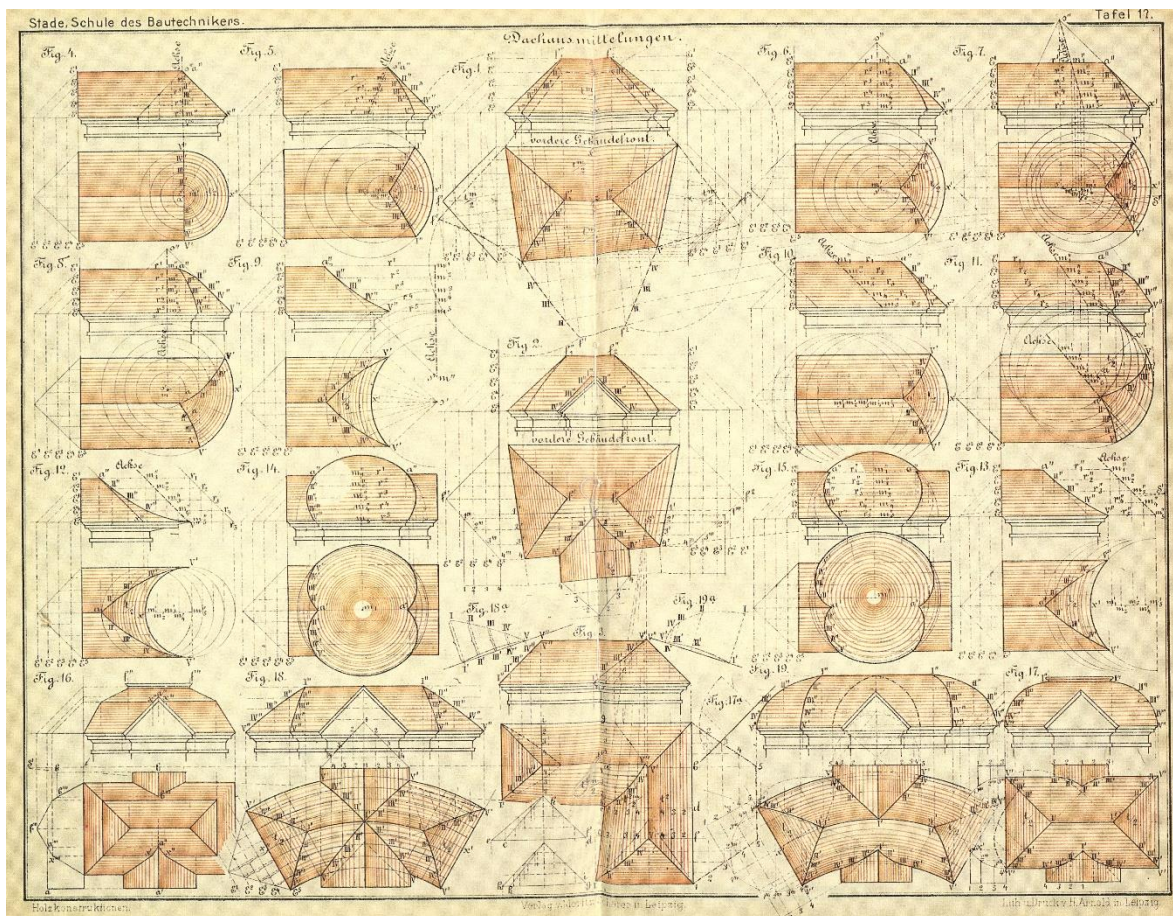


Bilde 33 Prosjeksjon av skjæringslinjer, ved jevnt buete objekter, Peter Kübler, Basiswissen Vergatterung, 2019

- Skjæringspunkter mellom ujevnt- buete objekter



Bilde 34 Skjæringspunkter mellom ujevnt- buete objekter, Peter Kübler, Basiswissen Vergatterung, 2019



Bilde 35 Takarrangement med linjetegning, Stade 1904

Disse tre beskrivelsene høres veldig teoretiske ut. De tilhørende skisser/figurer forklarer at disse objektene kan forekomme i både gammel og moderne arkitektur. Noen av disse formene finner vi i den eldste arkitekturen. Buer og kupler ble tatt i bruk, før det fantes drager som bærende elementer. Disse formene finner vi i alle tidsaldere. Der som dette var aktuelt. Og det er fullt mulig å konstruere og bygge slike konstruksjoner tradisjonelt på «tegnebrett» eller «avbindningsplassen».

## Trigonometri

I tillegg til de forskjellige skiftningsmetodene, er det mulig å kalkulere ved hjelp av vinkelfunksjoner alle reelle lengdene, plasseringene av kloene, hakk, smygene og takvinkler. Her er det essensielt å bruke en kalkulator for å kunne anvende formelene som ( $\sin$ ,  $\cos$ ,  $\tan \alpha$  og  $\beta$ ) til å finne de individuelle målene. Kalkulert (matematisk) avbinding er en mer vanlig måte å kunne konstruere tak eller bygningskonstruksjoner på i den moderne skiftningen.

Med dette som utgangspunkt skal vi nå gå nærmere inn på skiftningsmetodene som vi har brukt i vårt arbeid med tårnkonstruksjonen

### 3.5 Praktisk tilnærming

En ytterlig metode å løse problemet vil være på plassen, av håndverkere og byggmestrer med metodene og mulighetene de har hatt.

Vi velger å kalle det «en praktisk tilnærming» og det er den mest sannsynlige utførelsesmetoden. Når vi betrakter tårnhjørnet så tyder nok det meste på det. Sperrene ligger alle med ulik avstand til hverandre. Sperrene ligger med ulik vinkel i takflaten. Det har blitt bygget opp og hugget vekk material på oppsiden av sperren. Alt dette indikerer at hjørnene ikke har blitt bygget etter gitte mål. De har blitt plassert og tilpasset individuell.

Vi har gjort oss noen tanker og antagelser om utførelsen allerede før forsøket i modellen. Det fremstår som svært krevende å plassere sperrene i riktig posisjon i takflaten for videre oppmerking og utarbeiding. Både når det gjelder dybden i sville- og i sperrehakket. En har som utgangspunkt kun en snor i takfoten.



For å kunne merke opp fasongen av takflaten må en forholde seg til en del momenter. Når sperrenes fasong merkes av, må en bestemme en høyde i konstruksjonen som utgangspunkt for merkingen. Med det gitt, kan en bestemme flere høyder. Høydene kan etableres med snor eller lekter. Disse må da ligge i såpass stor avstand til emne at de ikke kommer i konflikt med hverandre. Denne hjelpeanordningen kan ligge både på under- eller oversiden av materialet. Vi plasserte den på oversiden. Det følte mest naturlig ved videre oppmerking.

## 4. Eksperiment

En viktig del av undersøkelsen har vært, å teste metodene og hypotesene våre i et praktisk forsøk. I forsøket kunne vi overprøve og dermed avkrefte eller bekrefte de ideene og tankene vi har skapt ut ifra undersøkelsene i bygningen og litteraturen.

Første trinnet var å forsøke å løse problemet på tegnebrettet. Deretter bygget vi en mindre modell i M 1: 10 for å kontrollere løsningen fra tegnebrettet. Etterpå prøvde vi metodene i skala 1: 2, hvor vi jobbet ut ifra oppslagsgulvet.

Leseren finner alle tegningene i vedleggene 1-4.

### 4.1 Tegninger

Vi har brukt en del tid for å finne ut, hvilke metoder innenfor skiftning vi kan bruke for å komme frem til en løsning. Det var noen grunnleggende faktorer som måtte avklares og koordineres i tegningen. Hva trengte vi for å kunne gi et realistisk bilde av situasjonen? Hvilken deler av konstruksjon innvirker på vridningen av takflaten? Hvordan kan vi etablere et system i tegningen som kan svare på alle sperrere? Kan systemet anvendes på andre situasjoner eller kun på problemstillingen vår? Hva kan brukes som utgangspunkt for alle profilene?

Vi fant etter hvert ut at svaret ligger i takprofilen. Vi har to faste utgangspunkter. Punkt 1 er profilen i hovedtaket som danner formen av hjelmen. Punkt 2 er gradsperreren som er ytterpunktet i hovedtaket. Begge har forskjellige former og lengder. For å få begge i samme system måtte vi finne et likt utgangspunkt. Det fant vi i enten takfoten eller åsen. Begge deler fungerer bra, men for oss var det enklere å ta utgangspunkt i åsen. Takfoten var ikke tilgjengelig under oppmålingen i tårnet. Da var det naturlig å ta åsen som utgangspunkt.

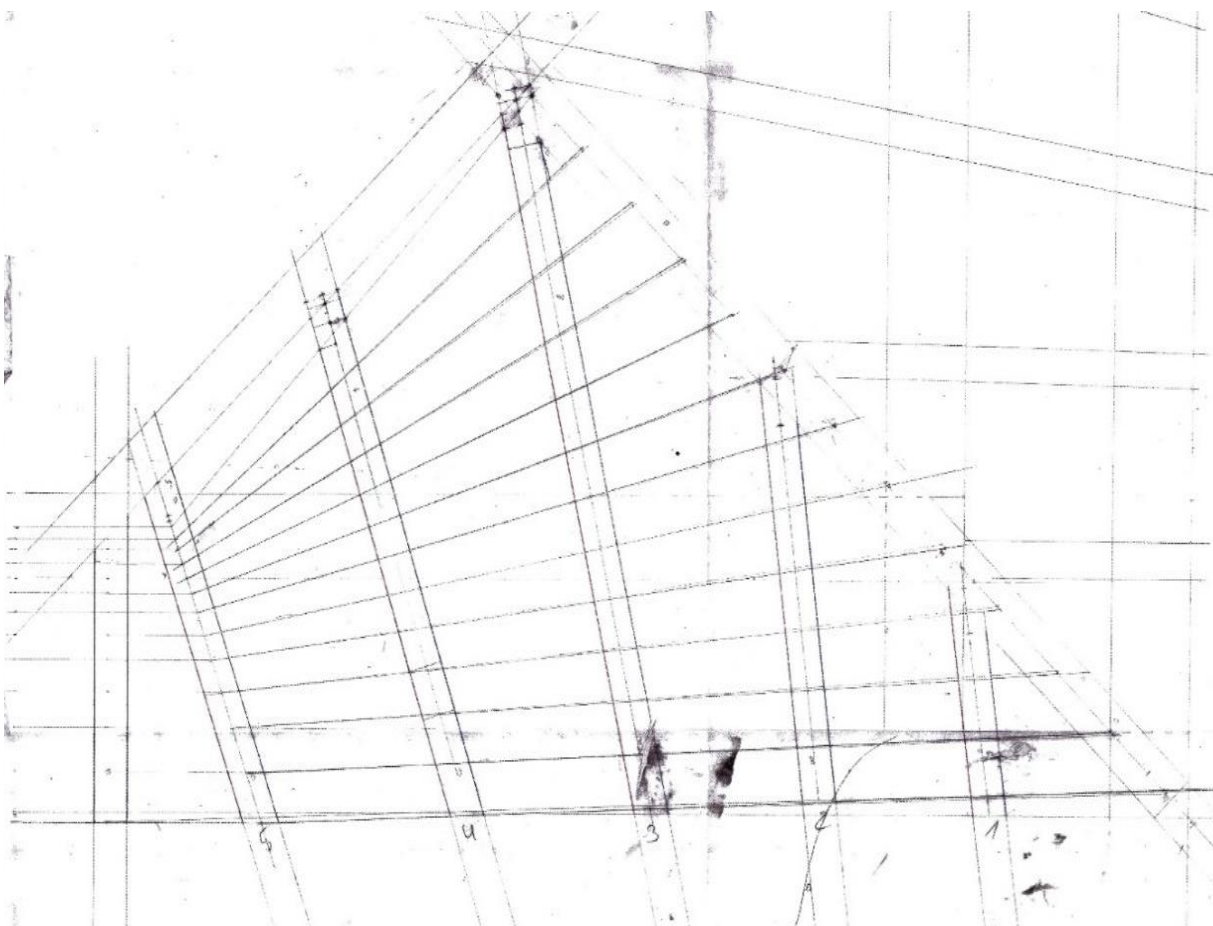
Både profilsperren og hovedgradsperreren har forskjellige lengder og former. Men de møtes i samme høyden.

Vi la høydelinjer i profiltegningen vår som lå i 20 cm avstand til hverandre. Samme avstanden har vi brukt under oppmålingen i tårnet. Vi kunne nå bruke dataene fra de originale konstruksjonsdelene og overføre i profiltegningen vår. Dermed hadde vi overført profilen av de originale konstruksjonsdelene i tegningen vår.

Men hvordan videre?

Møtepunktene hvor høydelinjen treffer profillinjen føres i rett vinkel i grunnen. Dette viser oss avstanden mellom høydelinjene i planen. Disse kan nå overføres i plantegningen. Punktet hvor åttekanten vrir seg i 45 graders vinkel ut av takflaten er neste utgangspunktet. Her ligger det en sekundærgradsperr. Den markerer slutten av takprofilen og begynnelsen av vridningen. Det er naturlig at takprofilens høydelinjer følger parallelt til senterlinjen på sekundærgradsperren. Fra det punktet må vi peile oss inn på høydepunktene på gradsperren. Når en forbinder punktene fra sekundærgrad- til gradsperren vises høydelinjene i en vifteform.

Dette er en logisk konsekvens av den store lengdeforskjellen mellom sekundærgrad- og gradsperren. Vi så nå hvor høydelinjene traff skiftesperrene. Igjen kunne avstanden mellom møtepunktene overføres i grunnen av profiltegningen vår. Linjene ble loddet opp og møtepunktene på høydelinjene dannet formen til alle sperrene. Men hva i alle dager var det? Vi hadde tatt utgangspunktet i en konveks takprofil. Nå viste en av sperreprofilene en konkav form. Det kunne umulig stemme. Vi var nødt til å prøve dette ut i en modell.



Bilde 36 Bildet viser hvordan høydelinjene danner en vifteform. Vinkelen for avgratingen på sperrene, og dens forandring, synes allerede nå, Tegning Helge Kleemann

## 4.2 Modell M 1:10

All tenking og teorier skulle etterprøves i et praktisk forsøk. Vi har laget flere M 1:5 tegninger som vi tok som utgangspunkt for modellforsøket vårt. For å kunne utprøve om resultatene i tegningen også holdt mål i sannheten bestemte vi oss for å lage en enkel skivemodell/ platemodell. Det var noen rare sperreprofiler/ former som viste seg i profiltkningene våre. Vi tok platemateriell og tegnet inn høydelinjer lik de vi hadde i profilttegningen vår. Etterpå overførte vi sperreprofilene på platene og utarbeidet formen og avgratingen. Disse enkle platene satt vi så opp på plantegningen vår for å få rett plasseringen i takflaten. Nå kunne vi prøve med en tynn list, som imiterte et takbord, om takflaten følget en rett linje eller om det fant avvik i flaten. Det viste seg at teorien vår stemte. Listen vår fulget gradene på alle sperremodeller nøyaktig. De bulende formene måtte være akkurat på den plassen for å understøtte «takbordet». Det førte til begeistring, både hos undertegnende og veileder.



Bilde 37 M 1:5 modell, Foto Helge Kleemann

### 4.3 Oppslagsplan

Oppslagsgulvet skal være plant og rent. For å lettere synliggjøre tegningene valgte vi å etablere et oppslagsgulv med platematerialer som vi malte hvit.

Tegningen ble laget i målestokk 1:2. De fleste mål ble i utgangspunktet hentet fra M 1:5 tegningen. I motsetning til 1:5 tegningen, valgte vi å ekstrahere profilene på en separat plass på oppslagsgulvet. Dette for å holde den lettere lesbart og mer oversiktlig.

Vi merket tidlig at oppmerkingen med sotsnor var vanskelig. Strekene ble for tykke og ble fort visket vekk. Tykkelsen hadde vært akseptabelt i en M 1:1 oppriss, men ble litt for tykk i vår tegning. Vi gikk over til blyant for å sikre presisjon i tegningen. Vi hadde funnet oppmerking med blyant i tårnkonstruksjonen og gikk ut ifra at det var et redskap som var tilgjengelig.



Bilde 38 Lars under arbeidet på oppslagsplassen. Foto Helge Kleemann

### 4.4 Modell M 1:2

Vi har valgt å nedskalere modellen vår til målestokk 1:2. Den tilgjengelige plassen var begrenset. Materialet i tårnkonstruksjon er skantete tømmer. Vi valgte å jobbe med sagete materialer. Dette for å spare tid ved materialtilvirkning som vi trengte for å konsentrere oss om det faglige. Vi har prøvd, så langt det lot seg gjøre, å beholde forholdene ved oppmålingen i materialutvalget vårt. Materialet er hovedsakelig gran og furu. Det var ikke et mål å kopiere den eksisterende konstruksjonen i tårnet, men å få et bedre grunnlag for videre arbeid med det faglige.

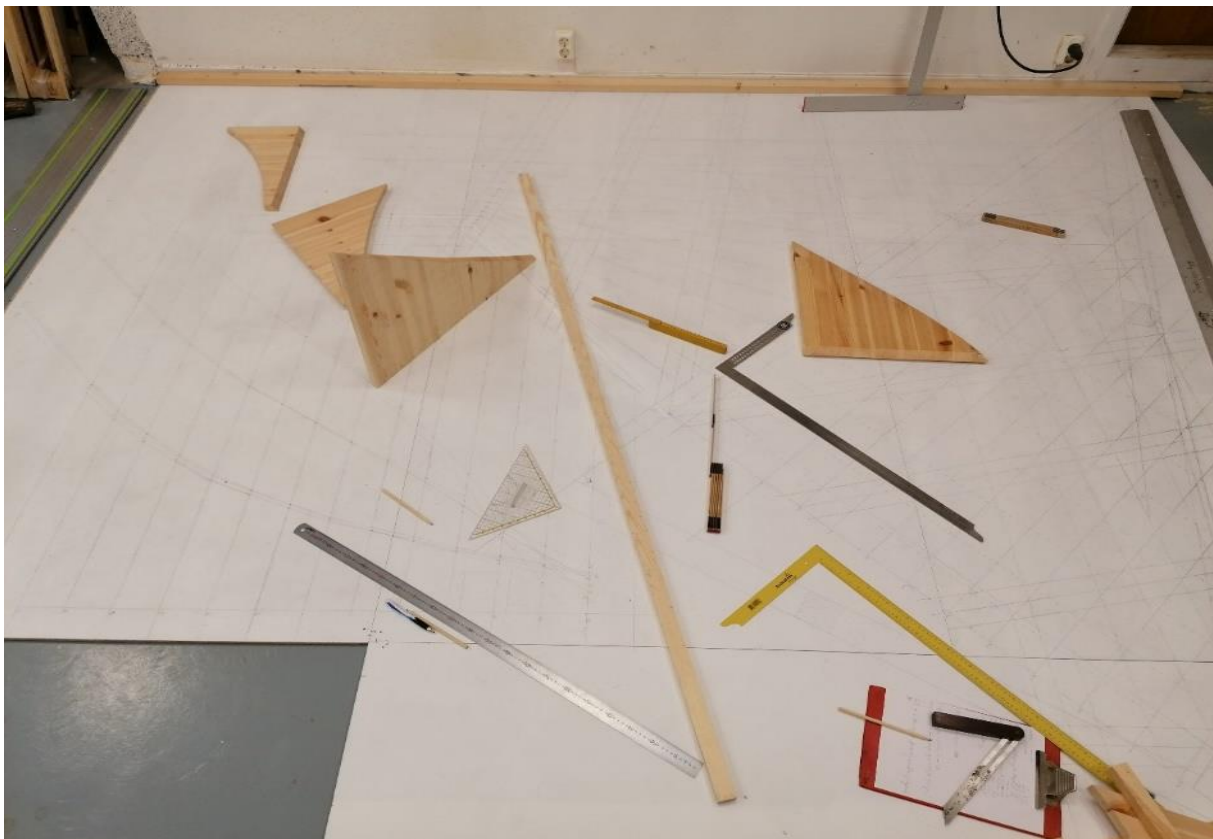
Skiftningen og den praktiske tilnærmingen skulle gjenskapes. Vi har lagd en takflate kun etter tegningene våre som målgivende utgangspunkt. Den andre takflaten skulle utarbeides med en praktisk tilnærming. Her ble det drøftet flere varianter, men vi besluttet å bruke en metode med avstandsklosser og lekter. Skiftesperrene hadde samme plassering på svillen og åsen som i tårnet.

Det skal sies at vi hadde en tidsbegrensning på eksperimentet som viste seg å være inngripende ved tilvirkning av delene. Vi begynte arbeidet med kun tradisjonelt verktøy. Etter hvert måtte vi innse at tiden vi hadde tilgjengelig ikke holdt for å gjennomføre eksperimentet på denne måte. Vi avgjorde at det faglige veide tyngre enn den tradisjonelle utarbeidingen og tok i bruk båndsaen etter hvert. Dette begrenser seg for det meste til tilvirkningen av sperrene.

Verktøyene vi brukte er tradisjonelle tømmerredskaper som sag, stemjern, stikkøks, snekkerøks og bandkniv.

For oppmerking og måling brukte vi for det meste rettholt, meterstokk og blyant. Lekter og klosser til overføring av mål var praktisk når det skulle merkes flere mål samtidig.

Innfestning av delene er utført med skruer. Vi hadde smiddspiker i rette dimensjon tilgjengelig, men var redd for å ødelegge konstruksjonsdelene ved demontering. Modellen skal tas ned og flyttes fra Bergen til visningslokalene i Trondheim.



Bilde 39 Oppslagsgulvet for modellen vår, Foto Lars Sonnenrein

## 5. Resultat

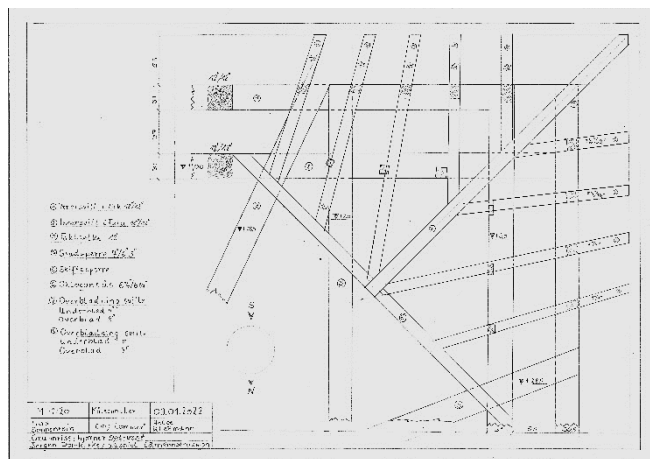
I denne delen vil vi gå dypere inn i den prosessuelle fremgangsmåten i forsøkene våre.

Vi skal se nærmere på arbeidet med både skiftningen og det praktiske forsøket i 1:2 modellen vår.

### 5.1 Prosessbeskrivelse Skiftning / Tegning/ Oppslagsgulv

*Vi forutsetter at leseren har lest kapitlet om oppmålingen og dermed vet hvordan vi kommer fram til gitte mål. Fremgangsmåten er den samme på alle tegningene. Kun formatet er forskjellig. Vi har vedlagt alle tegninger i full størrelse i vedlegg 1-4.*

Etter oppmålingene på domkirken gikk vi på tegnebrettet. Først ble det tegnet en plantegning på papir i 1:20. Dette for å få en oversikt og for å plassere alle gidde mål fra oppmålingen. Deretter begynte vi å tegne grunnplanen i 1:5. Tegningsforløpet på oppslagsgulvet i M 1:2 er lik M 1:5 tegningen. Vi valgte å legge profiltegningene i M 1:5 i samme planen som gradsperreren mens i



Bilde 40 Oppmålingstegning Lars Sonnenrein

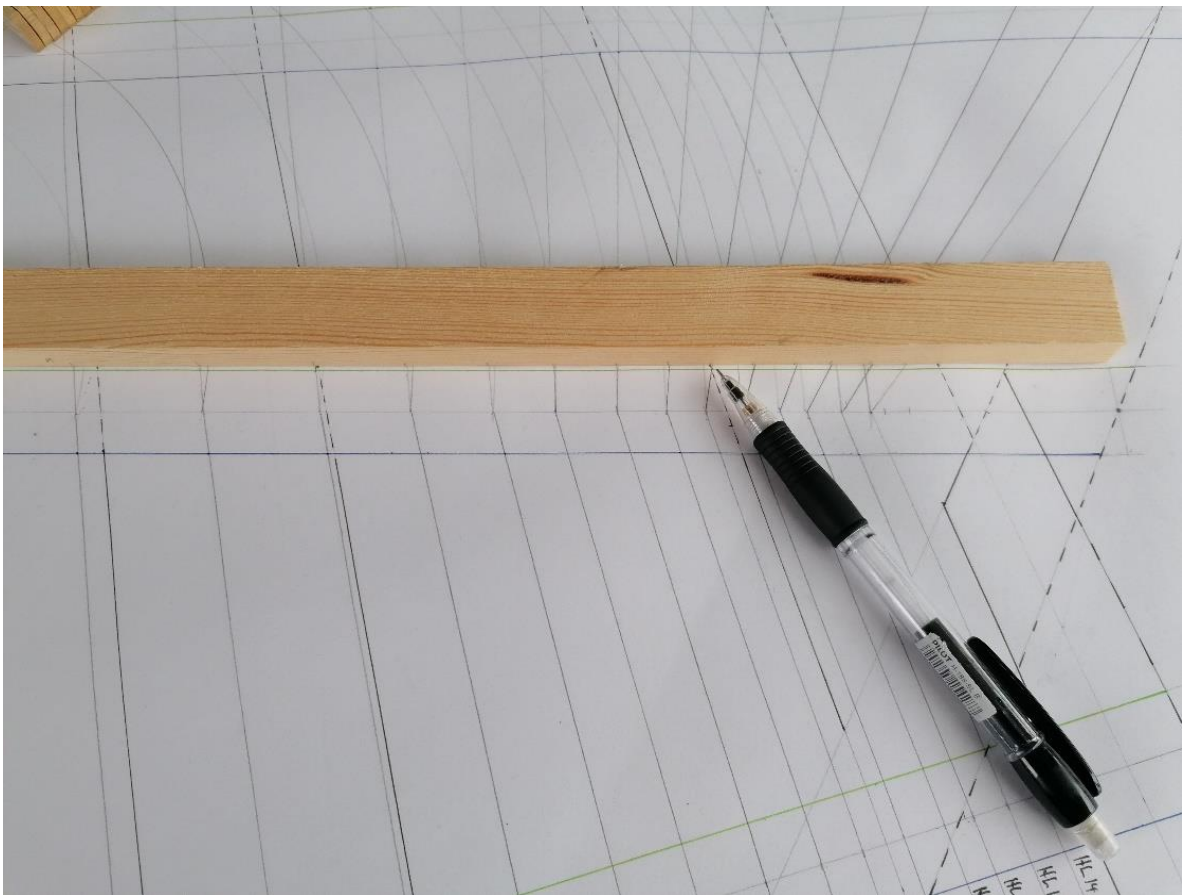
M 1:2 tegningen la vi profilene i en separat

del av opprissgulvet. Dermed kunne vi bygge svillekonstruksjonen og utarbeide sperrene samtidig.

1. Først etablerte vi svillene på tegningen, for å ha et utgangspunkt for målgivende krysningspunkter.
2. Med utgangspunkt i det indre krysset av yttersvillene ble målene for fotpunktene til sperrene satt på svillene.
3. Åsen ble etablert ut ifra gitt lengde fra indre krysningspunktet på yttersvillen langs gradsperreren i 45 grader med oppmålt avstand. Fremkanten til åsen ble etablert i 45 grader til svillen. Bredden ble avsatt deretter.
4. Etterpå fant vi punktene hvor gradsperreren og skiftersperrene treffer på åsen. Med dette ble retningen og vinklene til grad- og skiftersperrene og deres posisjon i takflaten bestemt.
5. Åsen som ligger parallelt til svillene i hovedtaket ble tegnet inn med oppmålt avstand. Vi får et krysningspunkt som danner overgangen mellom 2 sider i åttekanten. Denne markeres for plasseringen av sekundærgradsperreren.

6. En profilsperre som har konturene til hovedtaket blir nå plassert i utkanten av sekundærgradsperren i 90grad til takfoten. Vi har nå en plantegning av forholdene mellom sperrene i Domkirken. Neste steg er forberedelsene for profiltegningen.

For å kunne bestemme profilene til alle sperrene mellom sekundærgradsperren og gradsperren trenger vi 2 referansepunkter. Profilen til en sperr som står 90 grad til takfoten og profilen til gradsperren. Vi kunne ha brukt vilkårlige former, men velger å bruke målene fra oppmålingen. Under oppmålingen ble høydemålene tatt hvert 20cm. Disse høydene legger vi nå inn i form av høydelinjer i profiltegningen vår.

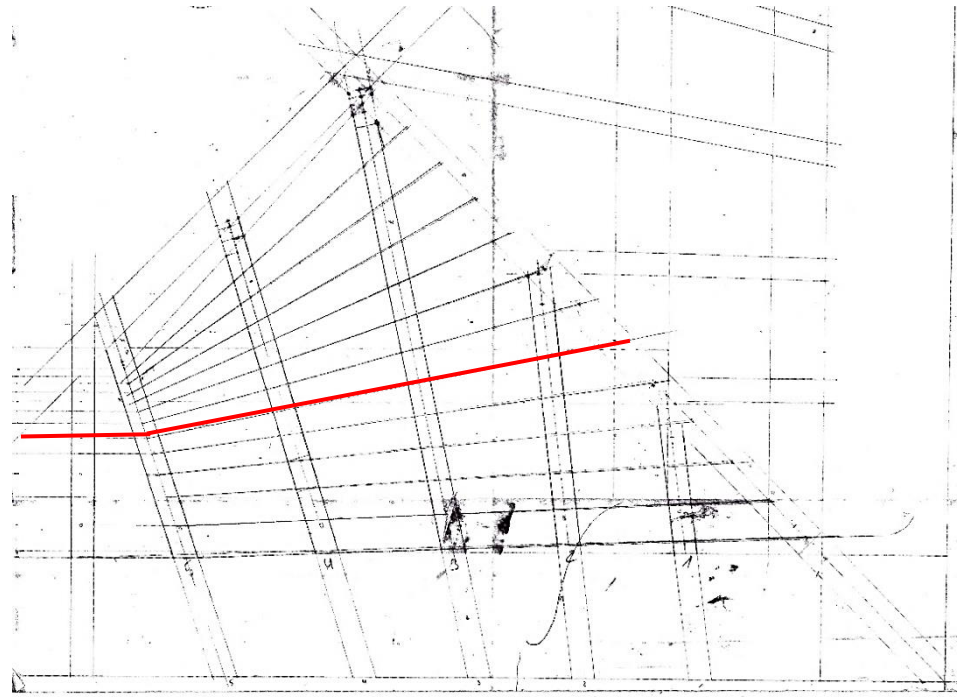


*Bilde 41 tegningen viser hvordan høydelinjene forløper parallelt til svillen og så forandrer retning på sekundærgradsperren mot gradsperren., bildet: Lars Sonnenrein*

Resultatene fra oppmålingen ble lagt inn, og vi fikk tegnet profilene til profilsperren og gradsperren. Krysningpunktene der profilen til gradsperren treffer en høydelinje blir ført ned i grunnen.



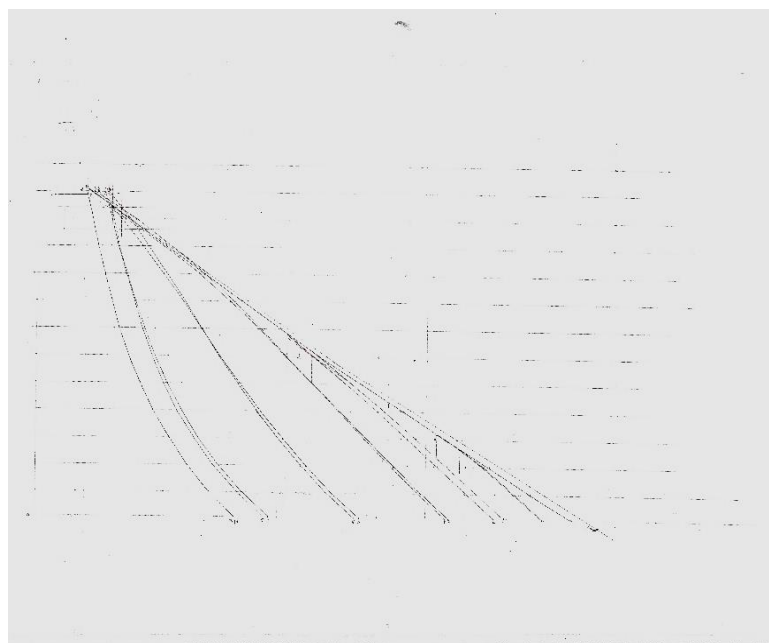
Der finner vi avstanden mellom punktene hvor høydelinjene treffer profilen. Det samme blir gjort med profilsperren. Disse avstandene blir nå overført i plantegningen vår. Nå blir høydelinjene etablert i plantegningen. Høydelinjene blir ført parallell til



Bilde 42 Plantegning M 1:10, høydelinjene, Helge Kleemann

takfoten til de treffer sekundærgradsperren i takflaten som danner overgangen til neste takflaten i åttekanten. Der høydelinjene treffer senterlinjen på sekundærgradsperren, blir disse videre forlenget til samme høydepunktet på senter hovedgradsperren. (Bildet 42) Allerede nå kan en se avgratingen på sperrene som ligger imellom sekundærgrad- og hovedgradsperren. Da høydelinjene treffer sperrene i 90 graders vinkel er profilen rett. Vinkelen på avgratingen kan leses av og måles i tegningen. Allerede nå kunne en ha overført de målte vinklene på emne. Den buete profilen gjør dette ikke mulig. Hadde takflaten vært rett kunne en gå rett på merking.

Når høydelinjene er etablert kan en med en lekke/ passer/ tommestokk overføre møtepunktene mellom sperren og høydelinjene i profilgrunnen. Disse blir vinklet opp på samme høydelinjen i profilen og danner profilen til sperren. Også her kan en se forandringene i avgratingen. Vi har nå all nødvendig

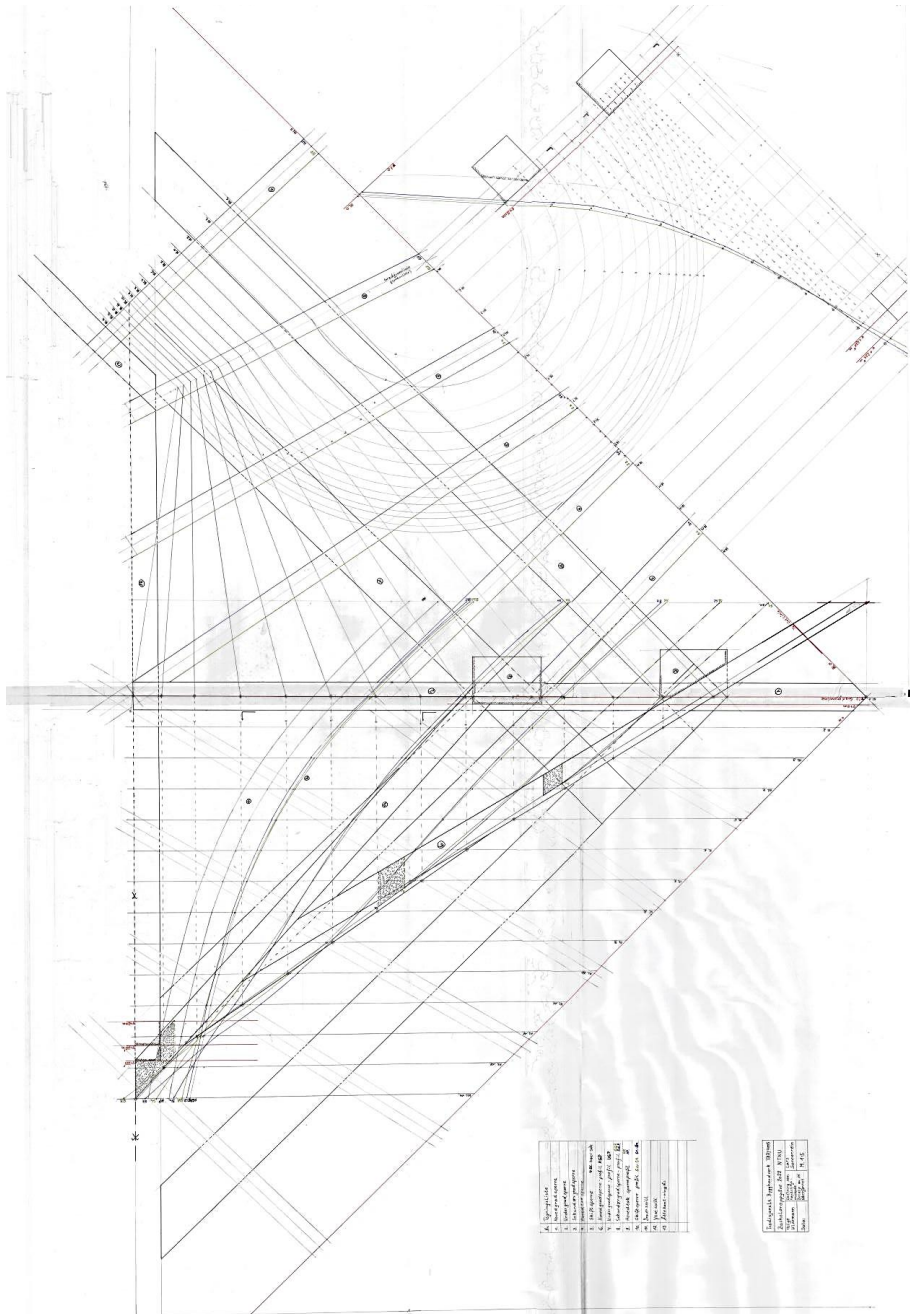


Bilde 43 Profiltegningen M 1:10, Helge Kleemann

informasjon for å kunne utarbeide sperrene.

Når en forestiller seg situasjonen på en opplagsplass, har en ofte kun grunnflaten på taket som utgangspunkt. Med det i tankene har vi laget vår hovedtegning M 1:5 på denne måten, at både grunnplan og profilplan ligger i samme tegningen. Dette kan virke forvirrende for øye og krever en viss innsikt i arbeidsmetoden. Er det kanskje derfor det snakkes om at byggmesteren holder kunsten sin hemmelig? Det legges 2 plantegninger over hverandre.

Leseren finner alle tegningene i full størrelse som vedlegg til dette arbeidet.



Bilde 44 Oppslagstegning M 1:5, Her ser vi både grunnplan og profilplan har blitt lagt over hverandre. I tillegg er sekundærgradsperren blitt lagt ut i høyre, øvre hjørne. Dette for å vise mulighetene i skiftningen. Tegning Lars Sonnenrein og Helge Kleemann.

## 5.2 Prosessbeskrivelse Modell 1 : 2

Det skulle utprøves to metoder for å komme frem til den omtalte vindskeive takflaten. Skiftning og en praktisk tilnærming.

### 5.2.1 Takflaten etter skiftningsmetoden

Vi tok plan- og profiltegnningene fra oppslagsgulvet som utgangspunktet for vårt videre arbeid med modellen. Vi jobbet med sagskåret virke av 2.- 3. sortering. Dette innebærer at virket delvis var vridd og ikke rett. Alle deler i konstruksjonen kunne legges direkte på plantegningen og forbindelsene og plasseringen av de enkelte delene kunne merkes av. Vi var nødt til å justere litt på emnene, i forhold til plantegning på opprissplaten. Vi bestemte oss å ta utgangspunktet i ytterkanten av svillene og høyre siden av sperrene. I et oppdragsarbeid hadde vi jobbet med lodd for å eliminere avvikene for vridning og skeivheter. Dette gjorde vi ikke i eksperimentet med begrunnelsen i tidsperspektivet. Dette resulterte i lettere justeringer av materialet og sammenføyningene.

For de konstruksjonsdelene som skulle utarbeides ut ifra tegningene, var overføringen av sperre- og skiftsperreprofilene den største utfordringen. I forkant av forsøket tenkte vi på sjablonger og koordinatsystemer. Disse skulle overføres til konstruksjonsdelene, for å definere profilpunktene. Det ble mange problemer og få løsninger. På forhånd var akkurat dette blitt diskutert med faggruppen på Handverkslaget. Her satset de fleste på en praktisk tilnærming. Alle mente at overføringen av profilene til materialet, ville være omfattende. Dette ville kreve flere sett med sjablonger eller et tidskrevende linjeoppriss. Vi ønsket å finne en metode som ville gjøre det enklere å gjennomføre denne overføringen

Løsningen var like enkelt som genial.

1. Når en legger emne til profilsperren på profiltegningen, kan en definere start- og endepunkt hvor profilen entrer materialet. Disse punktene kan merkes av. En markerer samtidig hvor alle høydelinjene treffer emne, inklusiv høyden hvor den treffer åsen.



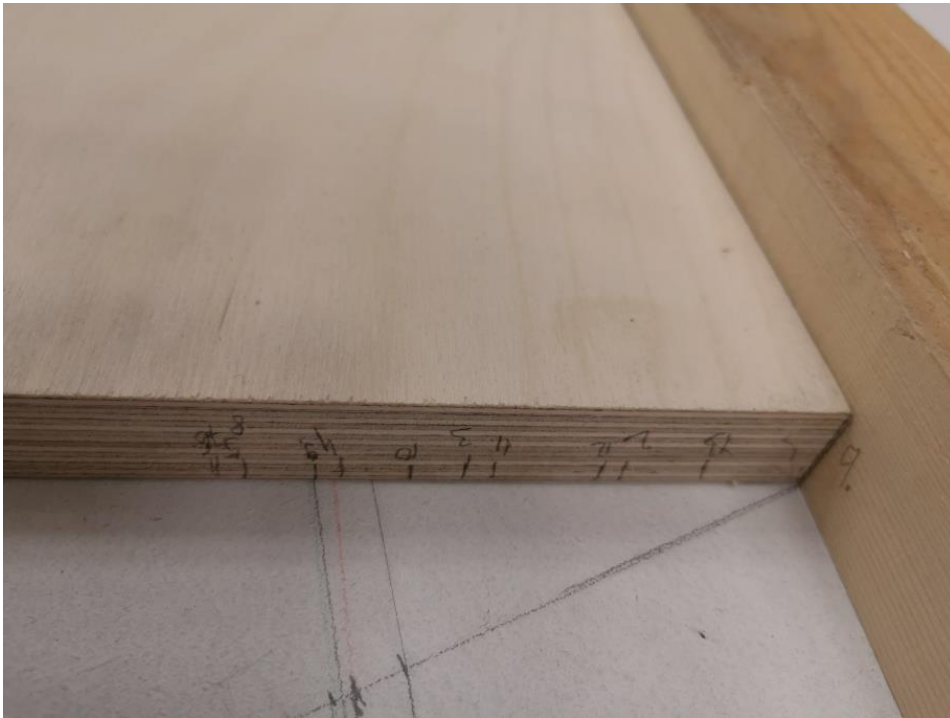
Bilde 45 Materialet lagt på profiltegningen på oppslagsgulvet. Her kan start- og endepunkt bestemmes og høydelinjene markeres. Det kan også overprøves om emne er egnet. Foto Helge Kleemann

2. En enkel, rett lekte og en rettvinklet trekloss kan nå bli brukt for å markere profillinjens plassering. En lekte blir lagt langs ytterkanten av materialet som referanselinje. En kunne da fjerne emne fra oppslaget.



Bilde 46 Lekten danner materialenes ytterkant. Profilen blir avmerket på klossen. Foto Helge Kleemann

3. Nå kan en føre en kloss langs lektekanten. Klossen blir lagt på samme plassen på høydelinjen. Avstanden til profillinjen blir merket av. Dette blir gjentatt til alle høydelinjene er merket.



*Bilde 47 Klossen blir plassert der høydelinjen treffer lekten. En kan nå avmerke avstanden fra lekten til profillinjen. Foto Helge Kleemann*

4. Klossen kunne nå flytes på materialet og plasseres langs dens ytterkant, hvor høydelinjen ble markert. Vi overførte avstanden som var merket på klossen til rett høydelinje på materialet. Da fikk vi en kopi av profilen fra opprissgulvet.



*Bilde 48 Klossen legges i kant med høydelinjen og profillinjens avstand til kanten kan merkes av. Foto Helge Kleemann*

5. Med denne metoden kunne en på en produktiv måte og på kort tid overføre profilene på materialet. I vårt tilfelle hadde vi avvikende profillinjer på begge sidene av sperren. Når en merket den ene profillinjen på klossen, kunne den bare snues og den andre profillinjen kunne merkes med det samme. En kan bruke samme klossen for å overføre de forskjellige profillinjene på høyre og venstre siden av sperren og gradlinjen der det skulle være nødvendig. Veldig enkel, effektiv og rask metode. Den kan også brukes flere ganger hvis en skal lage flere profiler av samme typen.



*Bilde 49 Klossen kan brukes på begge sider for å merke forskjellige profillinjer. Klossen kan da brukes på flere emner med samme profil. Foto Helge Kleemann*

6. Når en møter ukurant eller buet material kan en bruke referansebordet for å overføre profilen. En legger da referansebordet på det buete materialet og bruker klossen på samme måten som forklart tidligere. En vil da få frem en sann profillinje som er uavhengig av materiales fasong.



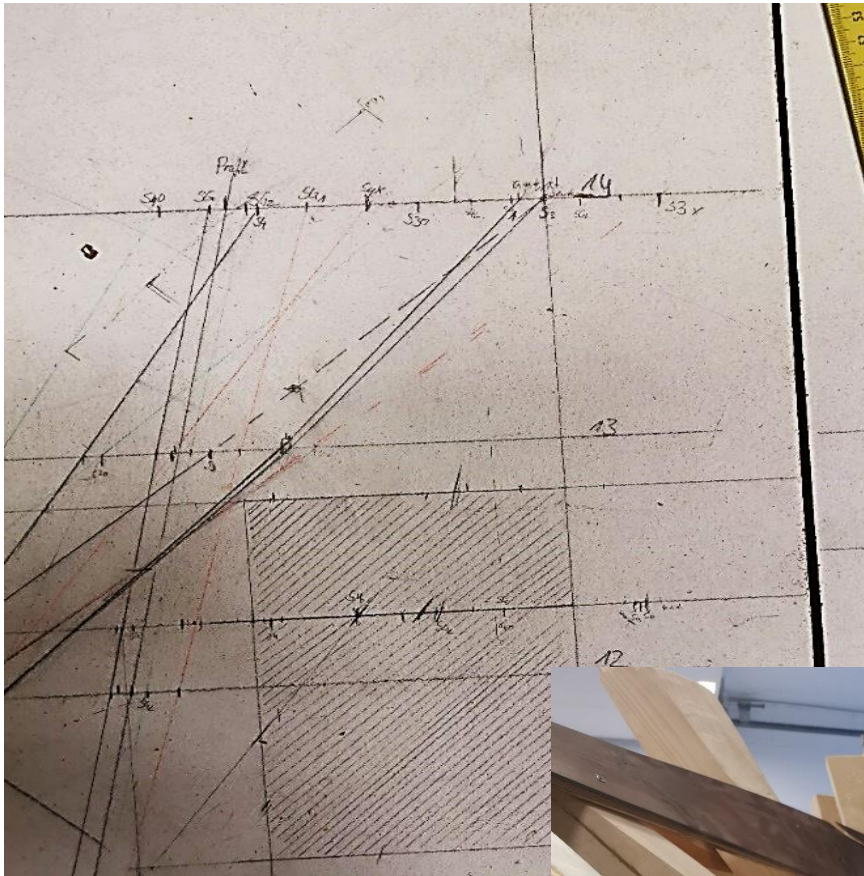
*Bilde 50 Metoden fungerer utmerket hvis materialet er buet eller skal ha en buet form for gunstigere utforming av profilen. Foto Helge Kleemann*

7. Sperrere og deres avgrating kunne nå utarbeides med øks og bandkniv. Når disse var ferdig, kunne de plasseres på rett plass på svillen. Svillens høyde ble tidligere merket av fra profiltegningen og gir et utgangspunkt for plasseringen i svillehakk.



*Bilde 51 Utarbeiding av sperrens avgrating. Foto Helge Kleemann*

8. Sperrehakket i åsen ble utarbeidet. Vi hadde tidligere overført dens høyde på materialet og kunne bruke den som indikasjon til plasseringen. Dybden på hakket kunne vi finne i profiltegningen. Se bildet 52. Når alle sperrene og skiftesperrene var plassert kunne en føre et rettholt over takflaten. Da kunne vi se at den følger vridningen fra takfot til åsen.



Bilde 52 1 Det oppsto problemer ved plasseringen av profilene i forhold til loddkanten på baksiden av åsen og senere ved plasseringen av sperrehakket. Foto: Helge Kleemann



Bilde 53 Taktroen ligger i rett linje på sperrene. Foto Helge Kleemann

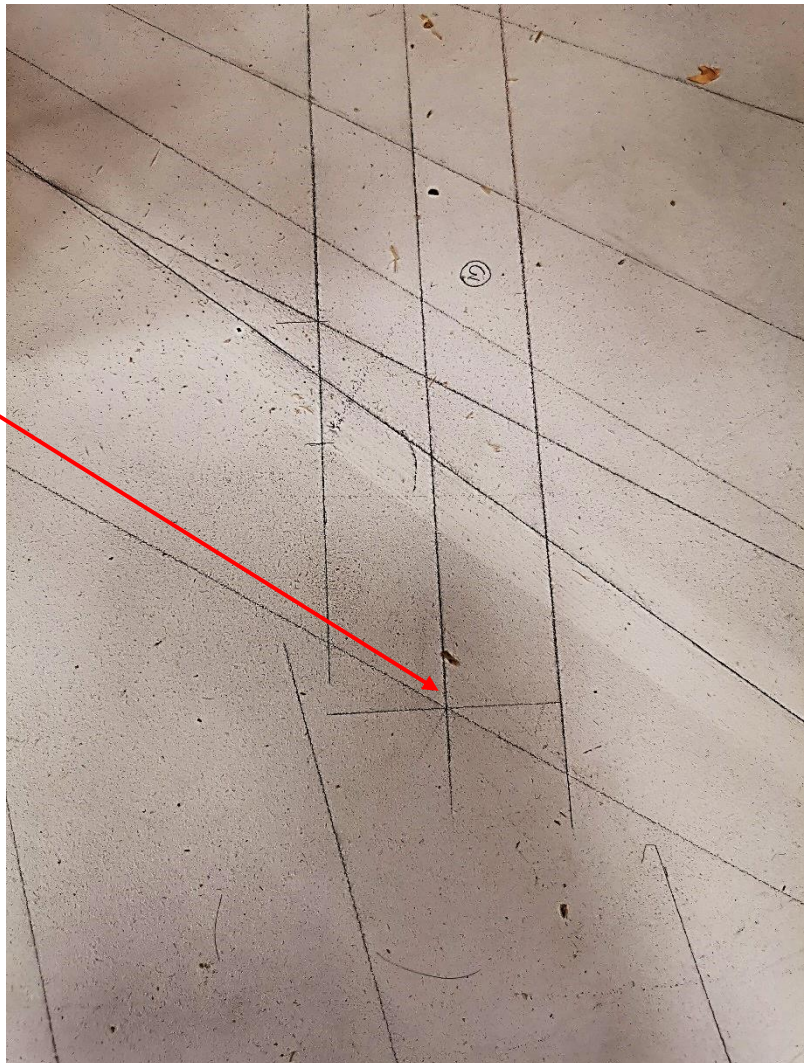


## Problemer underveis

Et problem var at, når en skulle gjengi et realistisk bilde av profilene i profiltegningen måtte en ta senterlinjens møtepunkt i bakkanten av åsen og vinkle den over på begge utsidene av sperren (se bildet 54). Det måtte brukes som utgangspunkt ved overføring av høydelinjene i profiltegningen. Det var nødvendig for å danne samme utgangspunktet på baksiden av åsen.

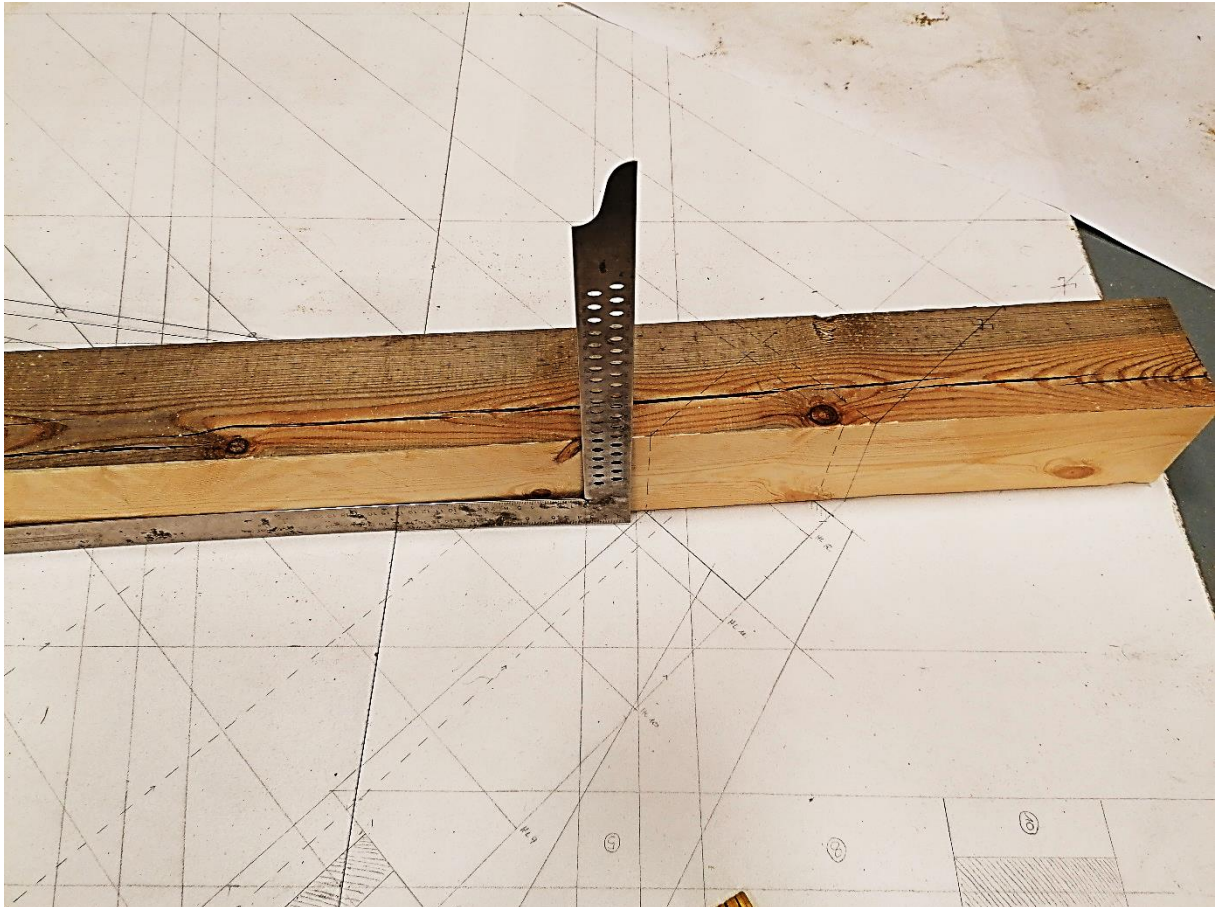
Det andre problemet var å finne hakket for sperrene i åsen (se bildet 52). Her var det lenge forvirring om plasseringen. Det var bare ikke mulig å lese ut av tegningen hvor dypt sperrehakket måtte være. Helt til vi fant ut at den overvinklede

avstanden fra senterlinjen, i vår første problemstilling, nå måtte trekkes fra/ legges til i bakkanten av åsen i profiltegningen. Denne forskyvingen av loddet var ikke åpenbart for oss ved første øyekast. Så enkelt men så uklart når en ikke ser løsningen blant alle strekene.



Bilde 54 Punktet der senterlinjen møter bakkanten av åsen måtte vinkles ut til profilkantene for å danne et likt utgangspunkt i profiltegningen. Foto Helge Kleemann

Merkingen av gradsperran og undergradsperran, skjer nesten på samme måten som med profilsperrene. Som tidligere nevnt, hadde vi litt utfordringer med plasseringen og merking fra plantegning til emne. På grunn av avvikene i dimensjoneringen på materialene og at kantene delvis var vridd og ikke rettet av, tok det litt lengre tid å plassere emnene på rette plassen på tegningen. Selve merkinger og måten å gjøre det på er egentlig nok så simpelt. Forutsett at en vet hvilke linjer en må risse på emne, og hvilke punkter man må forbinde etterpå.

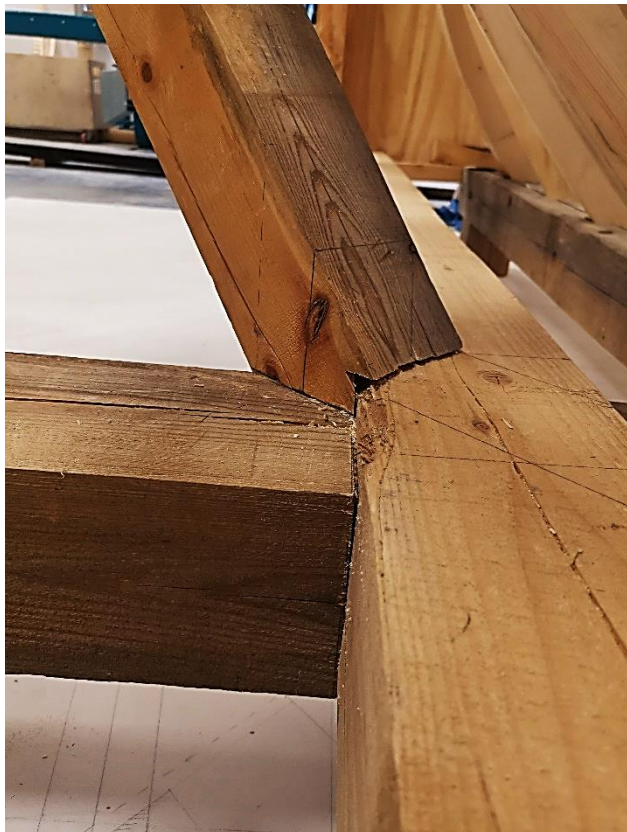


Bilde 55 Merking av gradsperran på opprissgulvet, Foto Lars Sonnenrein

Det mest krevende var å utarbeide hjertekloen på undergradsperren. Denne kviler på ytterkanten av det indre svillekrysset. Denne forbindelsen finner vi ikke i tårnet. Feilplasseringen skyldes en feil i oppmålingstegningen. Denne har blitt oppdaget senere, men ble tatt med i tegningsmaterialet. For å kunne begynne å sage hjertekloen til og hugge den ut av emne, trengs det en viss forståelse for hvordan kloen skal se ut. Svillene i tårnet har en høydeforskjell på 5cm fra hverandre. På grunn av dette kreves det enda mer 3-dimensjonalt forståelse av hjertekloen. Svillenes høydeforskjell fører til at hjertekloen også må konstrueres med samme høydeforskjell, dette for å kunne følge kantene på svillene der de krysser hverandre. En må følge nøye med på, hvilke strekker en må merke av på emne. En må finne ut hvilke streker i plantegning og i profilen som viser utgangspunktet der undersperren kviler i riktige høyde på svillene. Det var vanskelig å finne ut, hvilken streker som viser skjæringslinjene der undergradsperren treffer innerkanten av svillen, og danner en smyge med snittkanten som ligger loddrett. Siden en ikke kan merke senteret i hjertekloen fysisk inne i selve undergradsperren, er det viktig å merke og forbinde punktene riktig med hverandre. Dette er viktig for å få etablert de rette rissene en skal sage eller hugge langs med.



Bilde 56 Hjerteklo, Foto Helge Kleemann



Bilde 57 Hjertekloen som sitter på innersvillen. Foto Helge Kleemann



*Bilde 58 Hjerteklo, Undergradsperren med hjerteklo som kviler på innersvillen. Det var utfordrende at innersvillene lå i forskjellige høyder. Foto: Helge Kleemann*

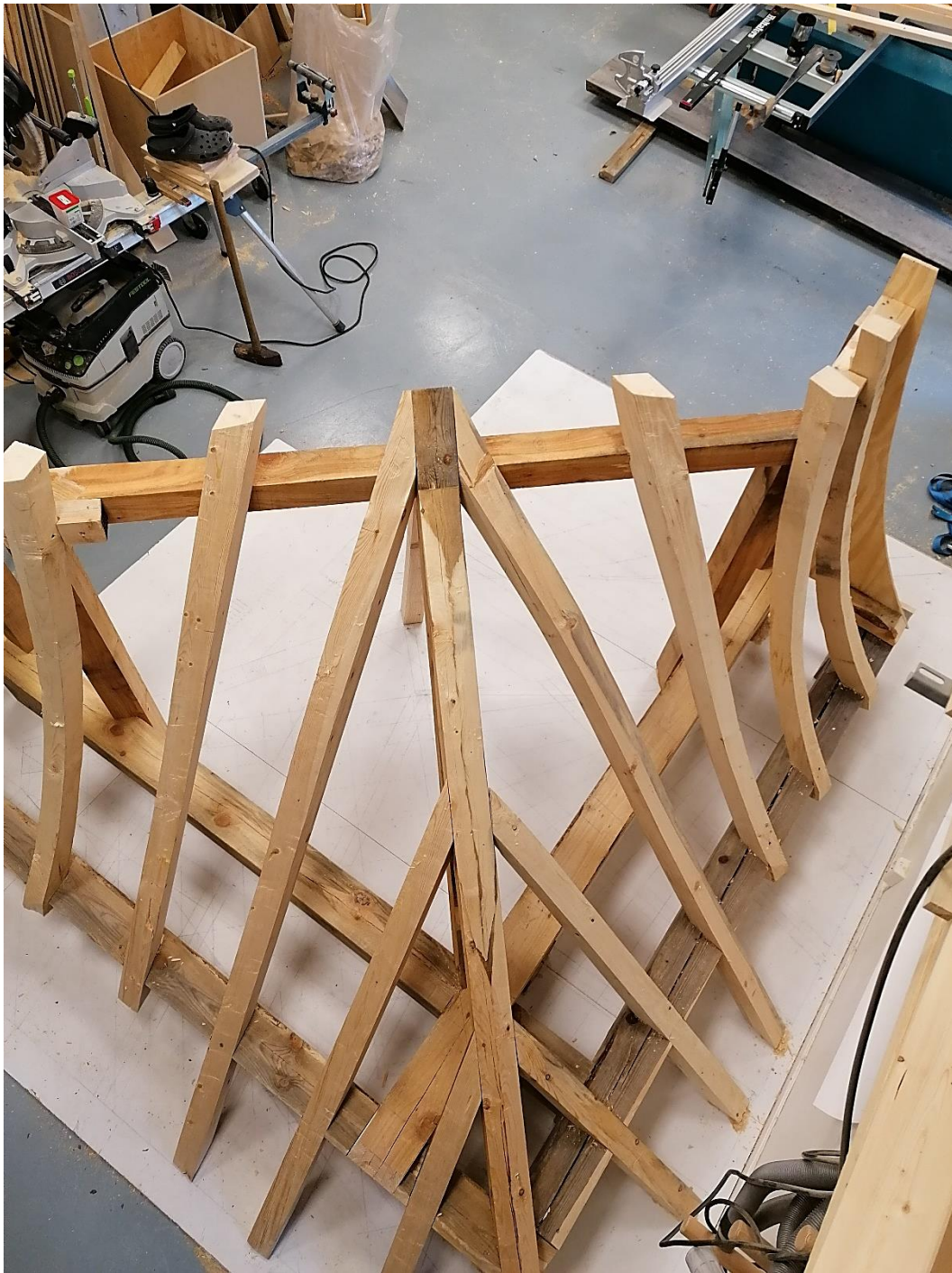
En annen utfordring var at dimensjoneringen av svillene ikke var lik de i plantegning. Vi var nødt til å justere lengden av undergradsperren, for å finne rette plasseringen på svillene. Alle merkinger ble utført med blyant og tømrvinkel på emne.

Innfellingen av gradsperren i yttersvillen kunne man måle og lese av i plantegningen og i profiltegningen. Avgratningen av gradsperren fant vi i profiltegningen. Ved hjelp av de fastsatte høydelinjene kunne man nøyaktig se hvor høyt avgratningen fra overkanten av gradsperren måtte avmerkes. På grunn av svaiet i taket fikk gradsperren, der overgradsperren treffer med overkanten på den underliggende gradsperren, en knekk. Her ligger det en kile, som strekker seg over denne knekken i gradsperren. Den danner en buet overgang mellom fotpunktet og toppunktet ved åsen. Punktene der kilen starter og avslutter, samt kilens avgratning, kunne vi finne i profiltegningen.



*Bilde 59 Den ferdige modellen. En kan legge merke til at avkantingen på gradsperren blir mindre opp mot åsen og danner en rett linje når den treffer takflaten i åttekanten. Foto Helge Kleemann*

## 5.2.2 Takflaten etter en praktisk tilnærming



*Bilde 60 Den ferdige modellen i M 1:2. Høyre side etter skiftningsmetoden, venstre side med den praktiske tilnærmingen. Foto Lars Sonnenrein*

Nå hadde vi gradsperran, sekundærgradsperran og profilen som eksisterende utgangspunkt. Gradsperran lå i konstruksjonen fra forsøket med skiftning. Avgratingen ble ikke utført på denne siden. Vi hadde laget ferdig sekundærgradsperran siden den er et formgivende utgangspunkt i vårt forsøk.

*Antagelser før iverksetting av arbeidet:* Det fremstår som svært krevende å plassere sperrene i riktig posisjon i takflaten for videre oppmerking og utarbeiding. Både når det gjelder dybden i sville- og i sperrehakket. En kan ha som utgangspunkt en snor i takfoten. Vi ser at materialet er økset i fasong på undersiden også. Vi gjør oss opp noen tanker om hvorfor dette er blitt gjort, og lurte på om vi finner svar på det i løpet av eksperimentet.

Som tidligere nevnt bestemte vi oss for å bruke avstandsklosser til merking av formene. Avstandsklossene ble etablert på grad- og sekundærgradsperren i 20cm avstand. Målet ble tatt på overkanten av svillen. Vi brukte 3'' material som opphøyning i modellen. Dette tilsvarer en vanlig sperretykkelse i originalkonstruksjonen. Vi mente at dette var en lett tenkelig og logisk tilnærming. I modellen kunne en mann føre lekten oppover høydelinjene, samtidig som den andre merker (parallell forskyver) på begge sidene av sperren. I tårnkonstruksjonen ville denne jobben krevd minst 3 personer på grunn av avstanden mellom sperrene.

Det første vi la merke til, var at den ubehandlede gradsperren avsluttet i samme høyden som yttersvillen. Etter at graten/avfasingen ble etablert måtte vi som følge av høydeforskjellen hugge vekk overkanten på yttersvillen. Dette måtte gjøres for å skaffe plass til taktroen.



Bilde 61 Merking av loddsmygen på skiftesperren, Foto Lars Sonnenrein



Bildet 62 Overføring av avstandsmålene i takflaten. Rettholten ligger på klossene, Foto Lars Sonnenrein

Det samme ser vi i kirketårnet. Som følge av at vi hugger vekk ytterkanten av yttersvillen vil hjørnet knekker lett innover fra sekundærgrad- til gradsperran. Takfoten ligger uforandret i samme høyden og er rettvinklet.

Som antatt ble plasseringen av materialet til videre oppmerking den mest krevende delen i dette forsøket. Pga. avfasingen på yttersvillen måtte det ferdige materialet bli felt så langt inn i svillen at det gikk klar med avfasingen. Vi hadde takfoten som fast utgangspunkt. Spørsmålet ble nå:» hvor langt skulle materialet feles inn i åsen?» For å ikke ligge for langt inn i eller ut av takflaten er denne plasseringen krevende.



Bilde 63 Yttersvillen blir faset av mot gradsperran. Foto Helge Kleemann

Hver sperre må overprøves i flere høyder med avstandsklosser og lekter, så forskyves/ felles og prøves på nytt. Dette for å sikre en mest mulig passende plassering. Vi begynte med å legge 8`` material i konstruksjonen. Dermed ble det en sterk overhøyning av materialet i konstruksjonen. Den overhøyningen skulle forenkle oppgaven med å finne rette konturene og utarbeide sperrene i full høyde. Det viste seg allikevel at overhøyningen var mer til hinder enn nytte. Dermed reduserte vi materialhøyden til 4`` som tilsvarer originalmålene vi finner i tårnkonstruksjonen. Plasseringen i takflaten var lettere selv om den ferdige sperren ble litt smalere. At sperrene blir smalere, finner vi i denne formen i tårnet også. Vi brukte flere arbeidsskritt for å finne rette plasseringen. Flere ganger måtte lekten legges på og alle høydene overprøves. Dette for å se om materialet lå godt nok i takflaten for å danne underlaget til taktroen. Når sperren var tilfredsstillende plassert, kunne oppmerkingen igangsettes.

Vi bestemte at merkingen på høydelinjen måtte skje i 90 graders vinkel til materialet som lå i takflaten (se bildet 62). En måtte bestemme seg for et mål siden den minste variasjonen førte til



store avvik i profillinjene. Lekten ble forflyttet i 5 forskjellige høyder, som ga oss 5 punkter vi kunne bruke for å tegne profilen. Når profilen var tegnet på begge sidene av sperren, ble disse utarbeidet med bandkniv. Det var ikke nødvendig å bruke båndsgen til dette arbeidet.

Ved senere overprøving av takflaten ved forskyvning av rettholtet på sperrene, kan en se lettere variasjoner hvor rettholtet gliper. Når en sammenligner med tårnet, så finner vi flere plasser hvor det er lagt under spon eller små kiler for å utligne den slags unøyaktigheter. Vi kan dermed med ganske høy sikkerhet fastslå, at denne byggemetoden har blitt brukt i tårnkonstruksjonen.



Bilde 64 Killing og oppbygging med strø i tårnet. Foto Helge Kleemann

## 6. Drøfting

I dette kapittelet skal vi resymere resultatene av undersøkelsene og presentere konklusjonene våre. Det skal drøftes hva vi kommer til og om det er av nytte for andre. Til slutt vil vi gi et utblikk på en mulig videre forskning og bruk av rapporten i fremtiden.

### 6.1. Hva kommer vi frem til?

I denne rapporten ville forfatterne undersøke arbeidsmetoden som kan ha blitt brukt under byggingen av de vindskeive takflatene på tårntaket i Bergen Domkirke. Vi skulle se hvordan taket har blitt bygget, og om vi kan rekonstruere takflatene ved hjelp av skiftning eller andre metoder.

Vi kan ikke konkludere med 100% sikkerhet at tårntaket har blitt bygget på den ene eller andre måten. Forfatterne legger til grunn en høy sannsynlighet for at hovedkonstruksjonen i tårnet er tegnet og tilvirket på bakken. Når vi betrakter sporene etter oppmerkingen ser en at disse er utført med stor presisjon, og kun på plasser hvor forbindelsene skulle utarbeides. Det var overraskende at vi fant forbindelser oppmerket med blyant. En skulle forvente merkinger som vinkelriss eller slik, men det finner vi altså ikke. Dette støtter vår antagelse om at konstruksjonen har blitt merket av en person. Det var muligens en byggmester som tegnet og merket hele tårnkonstruksjonen og noen dyktige tømrere har hugget, kappet og produsert delene. Antagelsene blir støttet av dimensjoneringen og lengden på konstruksjonsdelene. En må tenke på at hele tårnet ble bygget med konstruksjonsdeler i massivt trevirke, med store tverrsnitt og lengder opp mot 13,0 m. Dette ville innebære store utfordringer i å bygge tårnet som fri tilvirkning uten å ha nøyaktige lengder, vinkler og forbindelser. Dessuten tyder merkingen av hele bygningsseksjoner på en montering av allerede sammensatte elementer.

Hjørnene i tårnet er ikke bygget med skiftning. Hvorfor det? Vi kan ikke konkludere med en sikker bevisføring og må derfor stille med en sannsynlig hypotese.

Vi vet at det fantes kunnskap om skiftning i Norge på byggetiden. Hovedkonstruksjonen viser til det. Selv om skiftningen ikke kommer i lærebøkene før 1848 i Norge, var utvekslingen og kunnskapen fra håndverkerne fra andre land tilgjengelig. Spesielt i Bergen med sin tilknytning til den tyske Hansen var det mange håndverkere fra kontinentet og England.

Skiftning er individuell brukbar og gjennomførbar i all slags bygningskonstruksjoner. Ved å anvende skiftning er det mulig å se i prosessen hvordan konstruksjonen blir bygget opp, og hvordan de enkelte konstruksjonsdelene sitter sammen. Alle vinkler, avgratninger og snittkanter blir synlig. Når

man bruker skiftning i forbindelse med å konstruere en slik vindskeiv konstruksjon, er denne metoden den mest nøyaktige og presise å arbeide med. En kan vurdere emnene som skal brukes på forhånd og plassere disse mer nøyaktig.

At skiftning ikke ble brukt kan begrunnes med at løsningen ikke er helt åpenbart eller at byggmesteren synes det var enklere å gjøre tilpasningene på stedet. Vi ser at skiftesperrene ligger i ulike avstander, vinklinger og kantet i konstruksjonen. Disse har blitt bygget opp med kiler og strø for å utjevne unøyaktigheter. Ved noen skiftsperrer ble materialet i stor grad hugget bort, slik at dimensjoneringen av disse ikke sto i samspill med de andre sperrene i konstruksjonen. Dette er de tydeligste indikatorene for at de vindskeive hjørnene ikke er tegnet og konstruert med skiftning på avbindningsplassen.

Forsøkene viser at det hadde vært mulig å bruke skiftning og konstruere hjørnene i tårnet. Skiftesperrene hadde blitt mer presis i utformingen og mer symmetrisk plassert i konstruksjonen. Det viser seg at overføringen av profilene på emnene er lettere enn først antatt. En har muligheten til å velge emner som egner seg til formålet og det er ikke nødvendig med etterarbeid. Alle kiler og fjerning av material på taksperrene under monteringen av taktroet kunne vært spart. Men som tidligere nevnt, er dette ikke nødvendigvis åpenbart.

Forfatterne kan opplyse om, at det oppsto forskjellige problemer under arbeidet med skiftningen. Enkle usikkerheter, overseelser og ting en rett og slett ikke visste. Gjennom vår litteraturstudie og erfaringene fra trappebygg, fant vi løsningene som krevdes for en effektiv utførelse. Selv om denne typen vridning ikke var beskrevet i litteraturen vi hadde tilgjengelig, kunne vi overføre kunnskapen fra andre takformer og anvende den i forsøkene

Ved sammenligning av konstruksjonen i tårnet og modellen vår fant vi noen avvik. For eksempel er åsen hvor sperrene ligger imot, feilplassert i tegningen vår. I originalen ligger sperrene kun med en kant imot åsen, mens vi måtte lage et sperrehakk for å kunne plassere de rett i takflaten. Når en betrakter de andre hjørnene i tårnet, så ser en at alle er bygget forskjellige. Oppbyggingen av gradsperreren med kiler og tilnærmingen til sperrene er nokså forskjellig. Noen plasser har det blitt brukt buede emner, andre plasser er materialet rett, men hugget ganske tynn. Med en tegnet løsning hadde dette sett annerledes og mer likt ut i forhold til dimensjonering og plasseringen av emne.

## 6.2 Konklusjon

Hjørnene i tårnkonstruksjonen i Bergen Domkirke er bygget med en praktisk tilnærming. Sperrere og skiftsperrere viser tegn av tilpasning underveis. Sperrere er plassert i tilfeldige avstander til hverandre og ligger vridd i takflaten. Det er lagt under små flis eller større kiler der det var nødvendig. En ser også innhugg på oppsiden av sperren hvor material har blitt fjernet for tilpasning imot taktro i etterkant. Vi kan ikke si dette med 100% sikkerhet. Men sannsynligheten er nokså stor, at en praktisk tilnærming har blitt brukt.

Skiftning er ikke enkelt. Det har den aldri vært og det er den heller ikke i dag. En må ha en viss evne til å lese tegninger og romforståelse. Når en har kunnskap rund temaet skiftning, ser en mulighetene skiftning byr på. Det er så mange problemstillinger i konstruksjoner en jobber med, som enkelt kunne tegnes ned og løses med anvendt geometri som f.eks. skiftning. Her ligger det et stort potensial.

Når det er sagt så er det ikke mindre imponerende hvor nøyaktig delene i domkirkens konstruksjon er skjært sammen. Det er veldig nøyaktige forbindelser, loddkutt og sammenskjæringer.

Etter våre tegneforsøk viste det seg at det er mulig å bygge hjørnemodellen med skiftning. Vi kunne konstruere hjørnet og finne alle profilene, høydelinjene og vinkler. Med denne informasjonen kunne vi avbinde konstruksjonen. Til vår overraskelse har merkingen av emnene foregått raskt og presist.

## 6.3 Er oppgaven nyttig for andre?

Vi håper å kunne vise at en fagkyndig tømmer med forholdsvis enkle arbeidsmetoder og geometriske projeksjoner kan løse de fleste oppgavene. Dette kan anvendes på alle steder i en konstruksjon. Når en betrakter fremgangsmåten så skal det lite til for å kunne innfri ønsket om en litt annerledes utforming av konstruksjoner og arkitektur. Vi håper å kunne engasjere både fagfolk og samarbeidspartnere av disse, til å eksperimentere mer med former og design. Hvis kunnskapen om skiftning blir fremmet igjen og både arkitekter og tømmer finner en felles interesse i denne metoden å bygge på, så kan denne rapporten bidra med så mangt.

## 6.4 Framtidig undersøkelser/ forskning

For fremtidige undersøkelser kunne en se nærmere på lignende konstruksjoner. Dette ville gi en mer utfyllende informasjon om byggemåten har blitt anvendt andre plasser. Selv om hovedkilden til arbeidet er Bergen Domkirke, har vi prøvd å finne sammenlignbare objekter i både inn- og utlandet. Til dette arbeidet tok vi i bruk internettsøk og sosiale medier hvor vi har spurt om hjelp



Bilde 651 Pfarrkirche i Ruethen



Bilde 66 Den evangeliske kirken i Frankenhausen

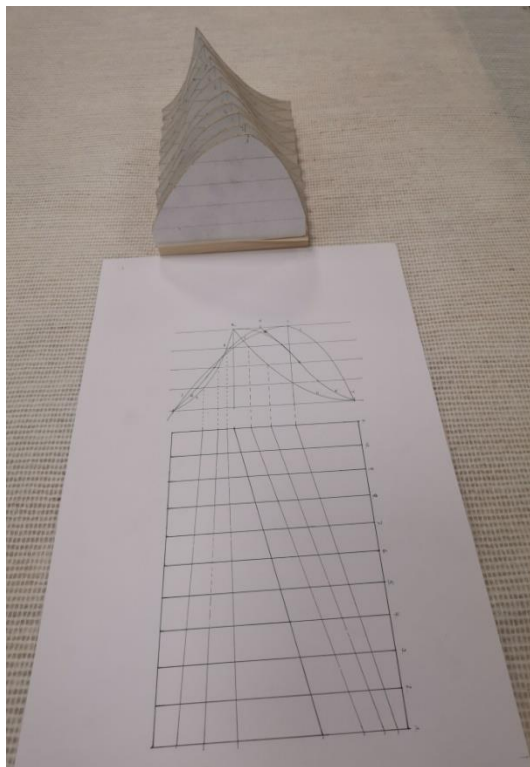
til å finne like tårntak. Dessverre er resultatene skuffende og vi har kun funnet 2 tårntak i Tyskland, som ligner på Bergen Domkirke. Til venstre (Figur 21) St. Nikolaus Pfarrkirche i Rüthen (Nordrein-Westfalen) fra 1700-tallet. Til høyre (Figur 20) den evangeliske kirke i Bad Frankenhausen fra 1700-tallet (Thüringen). Dette søket kan utvides og befaringer og undersøkelser gjennomføres.

For vårt arbeid ville det vært utfyllende å få mer kunnskap i båtbyggermetoden. Her kunne det vært interessant å involvere en båtbygger enda mer i arbeidet for å se hvordan spantene i baugen på en båt blir oppmålt og tilvirket. Vi hadde dessverre ikke mer tid for å gå lengre inni denne problematikken.

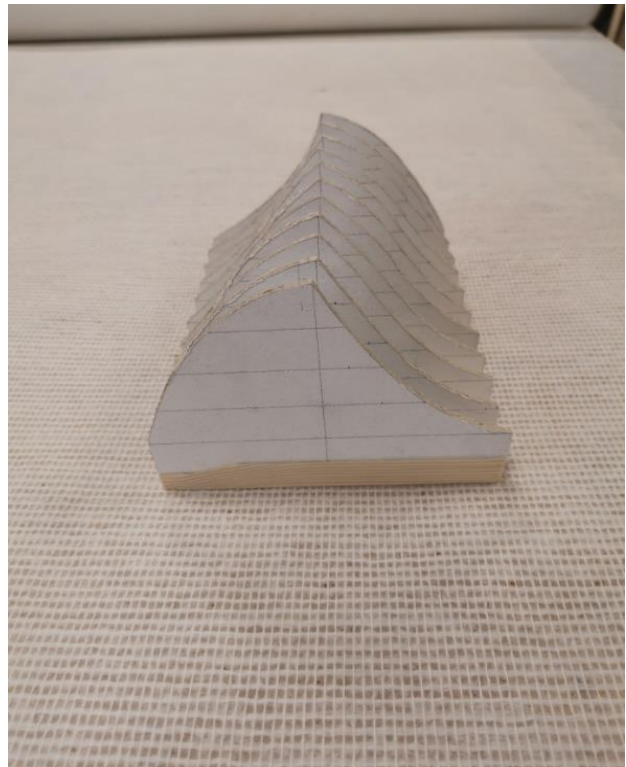
Skiftning og geometri i takkonstruksjoner er et stort og omfattende tema i tømmerfaget. Her kan det forskes videre på mange områder:

Skiftning er et tema som burde vært mer undervist i tømmerfaget mener vi. Spesielt i restaurering av eldre bygg er løsningene for reparasjon av skader ofte veldig mangelfull. Her kunne et økt kunnskapsnivå om skiftning være til stor fordel. I en tid hvor gjenbruk av bygningsmasser er hett diskutert og blir fremmet av byggebransjen, er det nødvendig med tømmer som innehar denne kunnskapen. En så enkel konstruksjon som et valmtak krever skiftning.

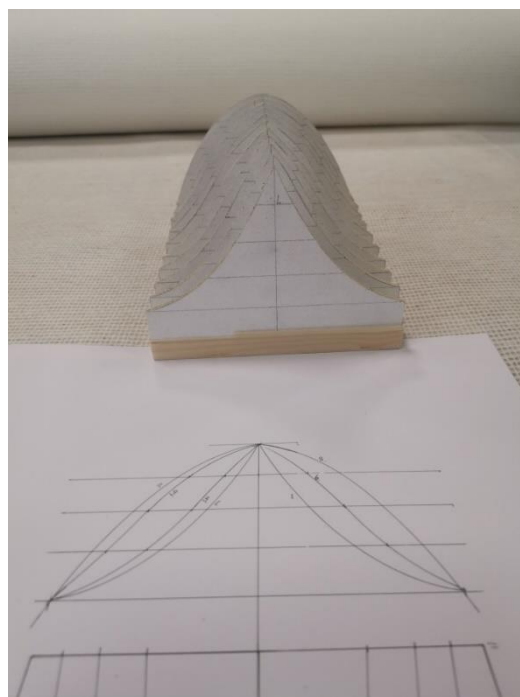
Når en vender blikket vekk fra denne oppgaven og ser temaet i en større sammenheng, hadde det vært interessant å se hvordan skiftning og vindskeive takflater kan bli brukt i moderne arkitektur. Vi har gjort oss noen tanker rund dette og laget noen enkle tegninger og modeller. Vi synes tanken og ideen er spennende, og en kan gå langt med dette. Mulighetene er kun begrenset av praktisk gjennomførbarhet.



Bilde 67 Eksperimentelle takformer, Foto Helge Kleemann



Bilde 68 Eksperimentelle takformer, Foto Helge Kleemann



Bilde 69 Eksperimentelle takformer, Foto Helge Kleemann

## 7. Litteraturliste

- Ayers Sim, Holy Grail of Roof Framing Geometry & Trigonometry, 2018  
[www.raftertools.com](http://www.raftertools.com)
- Bund Deutscher Zimmermeister (Hrsg.): Schiften nach der Flächenmethode. Bruderverlag GmbH
- Frøstrup, Anders "Tømrateori" Utg. Universitetsforlaget 1996
- Kübler, Peter, Basiswissen Vergatterung, BRUDERVERLAG 2021 ISBN 978-3-87104-274-4
- Lassen Hjort Ulrik, The Invisible Tools of a Timber Framer A survey of principles, situations and procedures for marking Göteborg 2014
- Lidén, Hans-Emil: "Norges kirker". Utg. Land og kirke. 1983
- Michelsen, Michael, Håndbok for byggmester og bygningstømrer Eget forlag 1946
- Nilsen N. Peder, Avbinding av takkonstruksjon, Grøndahl & Søns Forlag i Oslo 193
- Schumacher Roland, Müller Albert, Grosshardt Andreas, Riggensbach Michael, Wittmann Hans, Kübler Peter, Der Zimmermann, Basiswissen Schiften, Bruderverlag 2003
- Schübler, Johann Jacob: Nützliche Anweisung zur unentbehrlichen Zimmermanns-Kunst Nürnberg, Nürnberg: Weigel, Bieling, 1749 München, Bayerische Staatsbibliothek - Res/4 A.civ. 137 d
- Seeger, Robert, Schiftungen, Austragungen, Dachausmittlungen. Bruderverlag GmbH 1931
- Stade, Franz, Die Schule des Bautechnikers. Lehrgang zum Selbstunterrichte im Hochbau und den dazu gehörigen Hilfswissenschaften. Holzkonstruktionen, Moritz Schäfer-Verlag, Leipzig 1904.
- Viestad, K.M. Husbygging: yrkeslære med fagtegning for tømreere 1968 Yrkesopplæringsrådet for håndverk og industri, Universitetsforlaget
- Viestad, K. M., Innføring i konstruksjons- og projeksjonstegning, Oslo Universitetsforl., 1989

- Walter, Caspar, Zimmerkunst oder Anweisung Wie allerley Arten von deutschen und welschen Thurnhauben Caspar Walter - Barocke Zimmermannskunst Verlag: Augsburg, Veith, 1769., 1769
- Wolf, Gustav, Wolf`s praktische Ausfuehrung der Schiftung und Dachverbandholzer, Leipzig 1925
- Ågotnes, Hans Jakob, Fra handverkar til lønnsarbeider?: Snekkerar og tømmermenn i Bergen 1801-1920, Universitetsforlaget Bergen 1997

#### Nettressurser

<https://wiki.edu.vn/wiki41/2021/12/13/schiftung-wikipedia/>

ASSOCIATION OUVRIÈRE DES COMPAGNONS DU DEVOIR ET DU TOUR DE FRANCE <https://www.compagnons-du-devoir.com/>

<https://www.timberstructures.net/>

[Scribing tradition in French timber framing - intangible heritage - Culture Sector - UNESCO](#)

Electronic reference:

ADELL, Nicolas. The French Journeymen Tradition: Convergence between French Heritage Traditions and UNESCO's 2003 Convention In: Heritage Regimes and the State [online]. Göttingen: Göttingen University

Press, 2013 (generated 10 septembre 2020). Available on the Internet: <<http://books.openedition.org/gup/385>>. ISBN: 9782821875470.

#### Intervjuer i vedlegg nr.8

Axel Weller 2020

Ulrik Hjort Lassen `22

Handverkslaget `22

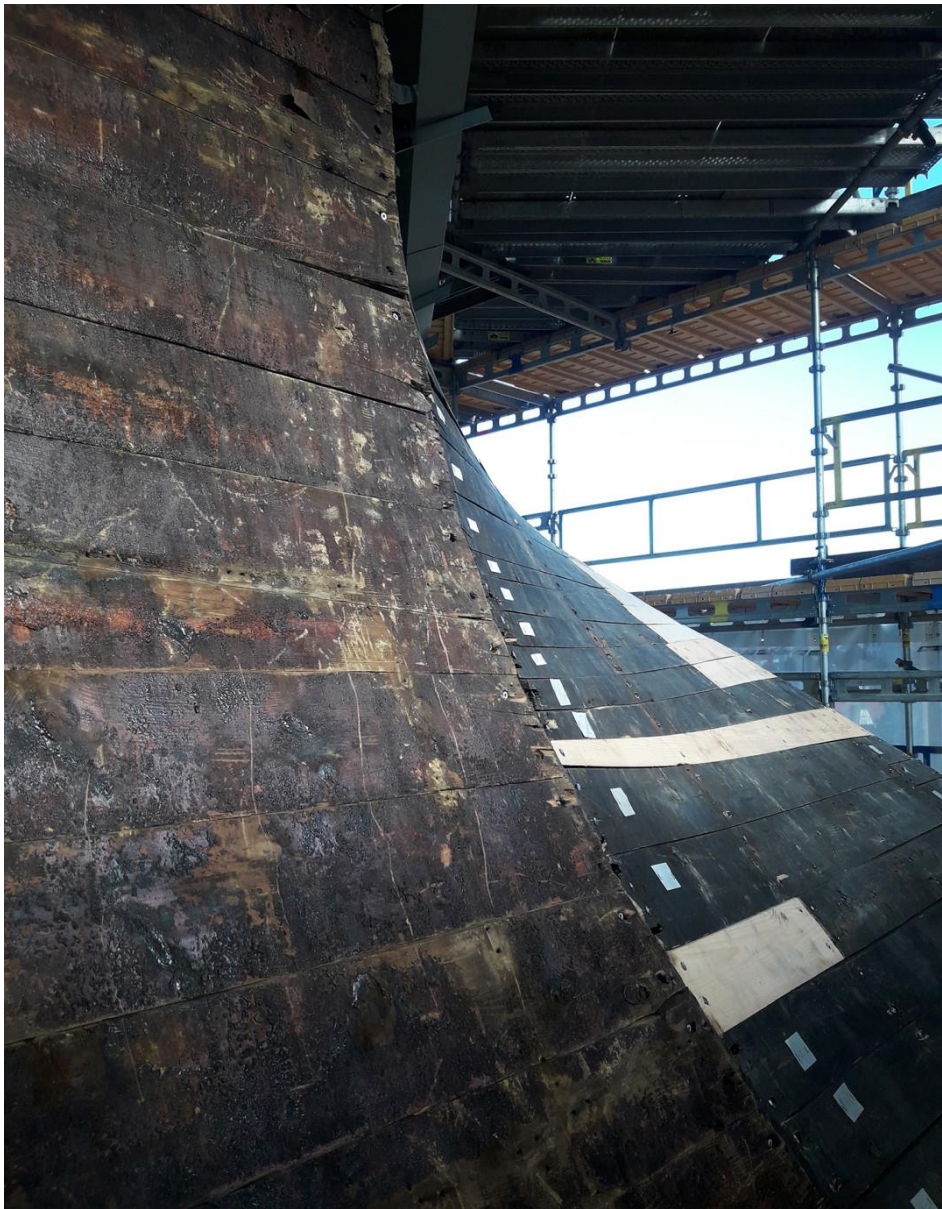
Div. byggmestre og håndverker `20- `22

Peter van Diepen `22



## 8. Vedlegg

1. Hovedtegningen/ Oppslag M 1:5 (full skalla)
2. Profiltegningen med samling på åsen M 1: 5
3. Profiltegningen med sperrene ved siden av hverandre
4. Oppslagstegningen M 1:10
5. 3D modellen, Ulrik Hjorth Lassen
6. Beskrivelse av linjetegning i båtbyggermetoden
7. Tegninger og bilder av modellene for eksperimentelle takformer i moderne arkitektur
8. Samtaler med håndverkere



Bilde 70 Vridningen i takflaten. Vindskeive tak er elegant og altfor sjeldent! Foto Akasia

