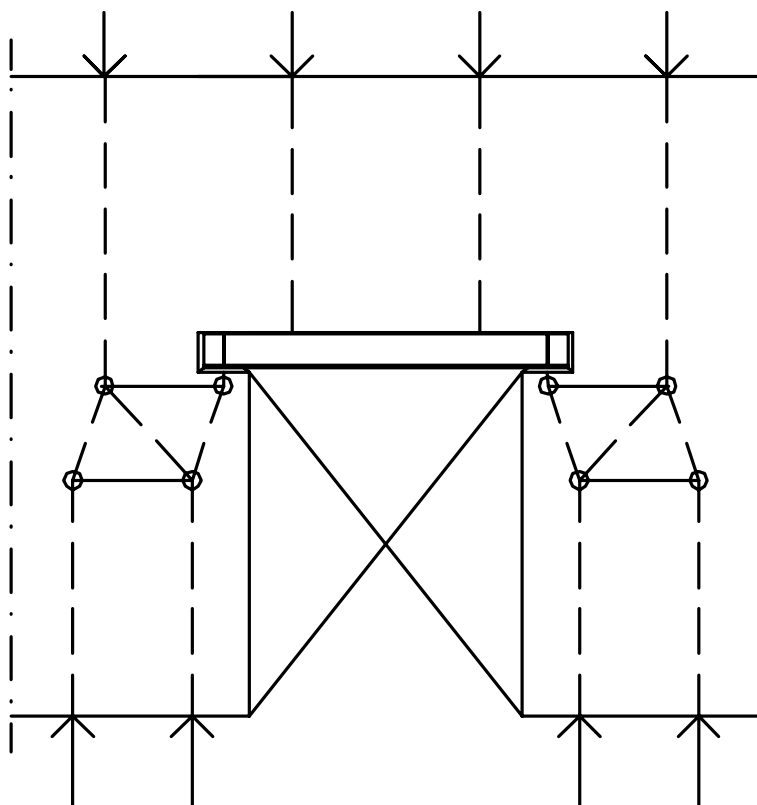




CHALMERS



Avväxling vid håltagning i väggar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

SEBASTIAN JERNBERG

EXAMENSARBETE BOMX03-16-32

Avväxling vid håltagning i väggar

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

SEBASTIAN JERNBERG

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för konstruktionsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2016

Avväxling vid håltagning i väggar
Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör
SEBASTIAN JERNBERG

© SEBASTIAN JERNBERG, 2016

Examensarbete BOMX03-16-32 / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2016

Institutionen för bygg och miljöteknik
Avdelningen för konstruktionsteknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Fackverksmodell över kraftspel då avväxlingsbalk används.

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2016

Avväxling vid håltagning i väggar

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

SEBASTIAN JERNBERG

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

I dagens samhälle har det uppkommit ett ökat intresse för ombyggnation av befintliga byggnader. Vid ombyggnation krävs det ibland håltagningar i bärande väggar som då måste stärkas konstruktivt med hjälp av en avväxling. För avväxling av laster finns olika avväxlingmetoder och problemet är hur projektören väljer vilken metod som skall användas med hänsyn till aktuella förutsättningar. Syftet med arbetet var att klargöra hur olika avväxlingmetoder fungerar med hänsyn till olika perspektiv. Målsättningen var att kunna ge rekommendationer för vilken avväxlingsmetod som bör föredras med hänsyn till aktuella förutsättningar. Information om avväxlingar och olika krav som ställs har tagits fram genom litteraturstudier och intervjustudier.

Förutsättningar som kan påverka valet av avväxlingsmetod är vilket kraftspel som eftersträvs i väggen, om stämpning accepteras eller bör undvikas samt krav med hänsyn till byggnadstekniskt brandskydd och beständighet. Lasterna som verkar på väggen ovanför håltagningen kan antingen ledas runt håltagningen i väggen eller ledas rakt ned till en avväxlingsbalk som monteras över öppningen. Vissa avväxlingsmetoder kräver att håltagningen görs innan avväxlingen är aktiv och kan bära last. Då används en metod som kallas stämpning för att tillfälligt avlasta väggen medan håltagningen görs. Avväxlingsbalkar utförs som regel i stål och måste skyddas mot brand då stålets mekaniska egenskaper påverkas då det utsätts för stora temperaturökningar. En metod som används för att skydda balkarna är att klä in dem med gipsskivor. Beroende på miljön som avväxlingen utförs i så kan åtgärder som påverkar stålets beständighet krävas.

I rapporten beskrivs tre avväxlingsmetoder. Dessa är klämavväxling där två U-profiler kläms fast på vardera sida om väggen med hjälp av bultar, infräsning av L-profiler där spår fräses i väggen och balkarna placeras därefter i spåren samt avväxlingsbalk med I-profil, som placeras utefter håltagningens övre kant. För den senare metoden kan balkens upplag utformas på två olika sätt, upplag på den befintliga väggen vid sidan av håltagningen eller upplag på stålpelare som sätts in vid håltagningens kanter.

Resultatet grundar sig till stor del på hur entreprenörer och projektörer upplever att arbeta med avväxlingsprojekt och olika avväxlingsmetoder. För varje avväxlingsmetod beskrivs ett förväntat kraftspel, principer för dimensionering samt för- och nackdelar.

Slutligen ges rekommendationer för hur avväxlingsmetod bör väljas med hänsyn till aktuella förutsättningar. Exempelvis bör avväxlingsbalkar med I-profiler användas vid större laster eller längre spännvidder och i de fall där avväxlingskomponenter eller brandinklädnad inte får sticka ut från väggen. Som ämne vidare studier föreslås en metod där dragstag i form av armeringsstänger fräses in i väggen, för att sedan täckas och förankras med höghållfast bruk.

Nyckelord: avväxlingsmetoder, avväxling, avväxlingsbalk, infräsning, klämavväxling, entreprenörer, projektörer

Lintels over peircing in walls
Diploma Thesis in the Engineering Programme
Building and Civil Engineering

SEBASTIAN JERNBERG
Department of Civil and Environmental Engineering
Division of Structural Engineering
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

In today's society there has emerged an increased intrest the redevelopment of existing buildings. During rebuild, is sometimes piercings needed in bearing walls which then must be strengthened constructivly with the help of a lintel. Different methods are used to share the load over the lintel and the problem is how the drafters selects which method to be used with regard to current conditions. The purpose of the work was to clarify how different lintel methods works taking different perspectives into account. The goal was to make recommendations for which lintel method should be preferred considering different conditions. Information on lintels and various requirements have been developed through literature and interview studies.

Which lintel method that should be used depends of current conditions. Some conditions that may have an affect on the choice of lintel method is how the force is distributed in the wall, if shoring is needed or should be avoided and considering building fire protection and durability. The loads acting on the wall above the peircing can either be led around the cutout or be led down straight to the lintel mounted over the opening. Certain lintel methods require that the peircing is done before the lintel is active and can carry loads. Then a method called shoring is used to temporarily relieve the bearing wall while the peircing is done. Lintels are usually carried out in steel and must be protected from fire when the mechnical properties of the steel are affected when subjected to large temperature increases. One method used to protect the beams is wrapping them with plasterboards. Depending on the environment the lintel is performed in requires different action which affect steel's resistance.

The report outlines three lintel methods. These are clamping lintel where two U-profiles clamped on either side of the wall using bolts, L-profiles which track is milled in the wall and the beams are placed in the tracks and lintel beam by I-profile, which is placed under the upper edge of the cut. For the latter method, beam heaps is designed in two different ways, heap on the existing wall at the side by the peircing or heaps on steel cloumns inserted at the edges of the cut.

The result is based largely on how entrepreneurs and drafters feel working with projects where lintels are being used and how they feel working with each method. For each lintel method is described how the force is distributed in the wall, principles for dimensioning and pros and cons with each method.

It concludes with recommendations on how lintel methods should be selected according to current conditions. For example, I-profiles should be used where there is larger loads and longer spans and where the beam is going to be wrapped with plasterboards but not protrude from the wall. As the topic further proposes a method where the tie rods in the form of reinforcing bars are milled into the wall, then covered and secured with high-strength mortar.

Key words: lintel methods, lintel, milled, clamped, entrepreneurs, drafters

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	III
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	V
FÖRORD	VII
BETECKNINGAR	VIII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Problem	1
1.3 Syfte	1
1.4 Avgränsning	2
1.5 Metod	2
1.5.1 Litteraturstudie	2
1.5.2 Intervjustudie	2
2 AVVÄXLING	3
2.1 Kraftspel i belastad vägg	3
2.1.1 Kraftspel där dragstag nyttjas	3
2.1.2 Kraftspel där avväxlingsbalk nyttjas	6
2.2 Stämpning	7
2.3 Byggnadstekniskt brandskydd	7
2.3.1 Skyddsinklädning med gipsskivor	8
2.3.2 Skyddsmålning med speciell brandskyddsfärg	8
2.4 Beständighet	8
3 VANLIGA AVVÄXLINGSMETODER	11
3.1 Klämavväxling med U-profiler	11
3.2 Infräsning av L-profiler	12
3.3 Avväxling med I-profil	13
3.3.1 Avväxling med I-profil upplagd på befintlig vägg	13
3.3.2 Avväxling med I-profil upplagd på pelare	14
3.4 Dimensionering av avväxlingbalk som är fritt upplagd	15
3.4.1 Momentkapacitet	15
3.4.2 Tvärkraftskapacitet	15
3.4.3 Interaktion mellan moment- och tvärkraftskapacitet	16
3.4.4 Nedböjning	16
3.5 Dimensionering av klämavväxling där friktion nyttjas	16

4	ENTREPRENÖRERS PERSPEKTIV	17
4.1	Fördelar och nackdelar med respektive avväxlingsmetod	17
4.1.1	Klämavväxling med U-profiler	17
4.1.2	Infräsning av L-profiler	17
4.1.3	Avväxling med I-profiler	18
4.2	Material- & arbetskostnad	18
4.3	Moment som projektörer ofta missar enligt entreprenör	19
5	PROJEKTÖRERS PERSPEKTIV	20
5.1	Fördelar och nackdelar med respektive avväxlingsmetod	20
5.1.1	Klämavväxling med U-profiler	20
5.1.2	Infräsning av L-profiler	20
5.1.3	Avväxling med I-profiler	21
5.2	Samordning	21
5.3	Förutsättningar	21
6	UTVÄRDERING OCH ANALYS	22
6.1	Avväxlingsmetoder	22
6.1.1	Klämavväxling	22
6.1.2	Infräsning av L-profil	22
6.1.3	Avväxling med I-profil	23
6.2	Materialkostnad & arbetskostnad	23
6.3	Information som saknas på ritningar	24
6.4	Kraftfördelning	25
6.5	Nedböjning	26
6.6	Återkoppling	26
7	SLUTSATS	27
7.1	Slutsatser	27
7.2	Förslag på vidare studier	28
8	REFERENSER	29

Förord

Detta examensarbete om 15 högskolepoäng har under vårterminen av 2016 utförts i samarbete med Sweco Structures AB i Falun. Det genomfördes för att avsluta min utbildning till högskoleingenjör.

Då jag skrivit arbetet själv har jag fått en bredare kunskap om alla delar av ämnet och kommer att ha stor nytta av detta i framtiden. Arbetet har inte bara gett mig kunskap om ämnet utan även utvecklat mig som människa då jag hela tiden varit tvungen att planera och strukturera mitt arbete för att nå slutmålet. Genomgående under hela utbildningen har jag varit intresserad av konstruktion och val av ämne för mitt examensarbete om föll sig därför naturligt.

Jag vill rikta ett stort tack till Sweco Structures AB i Falun som tagit väl hand om mig. Inte minst vill jag tacka min handledare där, Johan Carlsson, som gjort det möjligt för mig att skriva om detta ämne då han hjälpt mig med idéer samt besvarat mina frågor.

Jag vill även rikta ett tack till min handledare på Chalmers tekniska högskola, Björn Engström, som funnits där för mig under arbetets gång och hjälpt mig att strukturera upp detta examensarbete.

Göteborg juni 2015
Sebastian Jernberg

Beteckningar

Latinska versaler

A_s	armeringsbehovet i tvärsnittsarea
A_v	skjuvarean
C	tryckkraft
F	kraft
L	balklängd
M	böjande moment
Q	kraftresultant
R	reaktionskraft
T	dragkraft
V	tvärkraft
W	tvärsnittets böjmotstånd

Latinska gemena

a	svetstjocklek
b	flänsbredd
c	flänsbredd från svets
d	livhöjd mellan svetsar
f_y	ståletsflytspänning
h	total balkhöjd
h_w	livhöjd
q	utbredd last
r	reaktionskraft
t_f	flänstjocklek
t_w	livtjocklek
z	inre hävarm

Grekiska gemena

ε	epsilon
η	koefficient
κ_T	bucklingskoefficient
θ	vinkel
λ_w	slankhetstal
γ	partialkoefficient
μ	friktionskoefficient
χ_{LT}	reduktionsfaktor med avseende på vippning

1 Inledning

I detta kapitel redovisas bakgrunden till att arbetet genomförs. Vidare klargörs arbetets syfte, mål, avgränsning och metod.

1.1 Bakgrund

I dagens samhälle finns det begränsat utrymme att uppföra nya byggnader för olika typer av ändamål. Det har också uppkommit ett ökat intresse för ombyggnation av befintliga byggnader. Omfattningen på ombyggnationer beror till stora delar på vad byggnaden använts till tidigare och vad syftet med byggnaden skall vara framöver. De svårigheter som kan uppstå vid ombyggnationen beror ofta på konstruktionens stomme. Bärande väggar kan behöva flyttas, tas bort eller också kan håltagningar i väggar behöva göras för passage av något slag.

En håltagning i ett bärande element måste som regel stärkas konstruktivt med hjälp av en avvaxling. En avvaxling fungerar på så sätt att en balk och ibland även pelare ersätter den bärande funktionen hos väggen och därmed möjliggörs en passage eller dylikt i konstruktionen. Idag finns det ett flertal olika metoder som tillämpas för att göra en avvaxling, men det finns ingen given metod som alltid är den bästa. Samtidigt som det inte finns en given avvaxlingsmetod att utgå från så finns det inte heller någon självklar balkprofil som föredras. Denna varierar beroende på vilken metod man använder sig av. Om det går att kartlägga vilken avvaxlingsmetod som är att föredra beroende på aktuella förutsättningar kan metod för avvaxling väljas mer ändamålsenligt vilket kan leda till förbättrad funktion och kvalitet.

1.2 Problem

När det gäller avvaxlingar så har projektörer svårigheter att välja en lämplig metod för avvaxling av bärande väggar. Problemet är att projektören inte alltid fullt ut förstår konsekvenserna av ett visst val, t ex när det gäller utförande och svårigheter för entreprenören.

1.3 Syfte

Arbetets syfte var att klargöra hur avvaxlingsmetoder fungerar mekaniskt och samtidigt belysa svårigheter och önskemål med hänsyn till entreprenörers och projektörers olika perspektiv. Därefter ska för- och nackdelar med respektive avvaxlingsmetod identifieras.

Målsättningen var därför är att kunna fastställa vad som bör beaktas vid val av avvaxlingsmetod men att även kunna ge rekommendationer på lösningar i olika situationer med hänsyn till aktuella förutsättningar. Den lösningen skall tillgodo se önskemål från alla inblandade parter såsom beställare, entreprenör och projektör.

1.4 Avgränsning

Arbetet har begränsats till avvaxlingar i bärande betongväggar även om jämförelser görs till avvaxlingar i väggar av andra material. I huvudsak behandlas tre avvaxlingsmetoder, nämligen klämavvaxling, infräsning av balk eller en underliggande balk. De balkar som behandlas är stålbalkar med olika tvärsnittsprofiler.

1.5 Metod

För att ta fram information om avvaxlingar har två olika metoder använts, en litteraturstudie och en intervjustudie. Dessa metoder tillämpades för att få en förståelse om avvaxlingar ur ett helhetsperspektiv. Utöver detta så har egna utredningar samt beräkningar utförts.

1.5.1 Litteraturstudie

Litteraturstudien utfördes för att skapa en förståelse för vilka krav som ställs på avvaxlingsmetoder idag. Detta för att få en uppfattning om hur avvaxlingsbalkar skyddas mot yttre påfrestningar samt hur krafter fördelas inom väggen.

1.5.2 Intervjustudie

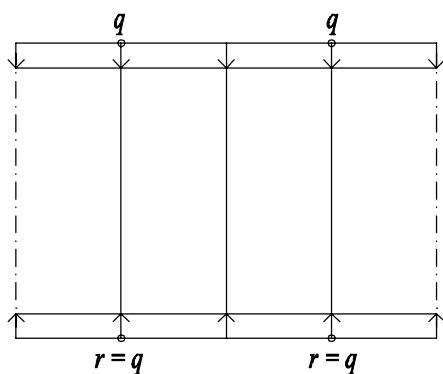
För att få ett så omfattande och givande resultat som möjligt så gjordes en intervjustudie med entreprenörer av olika storlek. Avsikten med detta var att se om arbetssättet med olika avvaxlingsmetoder skiljde sig mellan olika entreprenörer, till följd av deras storlek och förutsättningar. Projektörer med skilda positioner inom respektive konsultföretag intervjuades också för att belysa olika avvaxlingsmetoder ur ett konstruktionsmässigt perspektiv. Vid alla intervjuerna används ett förarbetat frågeformulär för att samtalet skulle genomföras så systematiskt som möjligt och dessa redovisas i Bilaga E samt Bilaga F.

2 Avväxling

Valet av avväxlingsmetod beror på aktuella förutsättningar samt de krav som ställs på konstruktionen. De faktorer som kan påverka valet av avväxlingsmetod och avväxlingens dimensionering och utformning är storleken på lasten samt krav på byggnadstekniskt brandskydd, beständighet och estetik, men också vilket kraftspel som uppstår i väggen. I detta kapitel förklaras dessa faktorer mer ingående samt redovisas hur de kan beaktas.

2.1 Kraftspel i belastad vägg

En vägg som är belastad av en jämnt utbredd last förväntas leda de krafterna den enklaste vägen inom konstruktionen genom ett jämnt fördelat spänningsfält. I en vägg utan håltagningar kommer därför kraften att i teorin gå rakt genom väggen som figur 2.1 visar och vidare till stödkonstruktionen där reaktionen uppkommer.



Figur 2.1 Kraftfördelning i belastad vägg utan håltagning

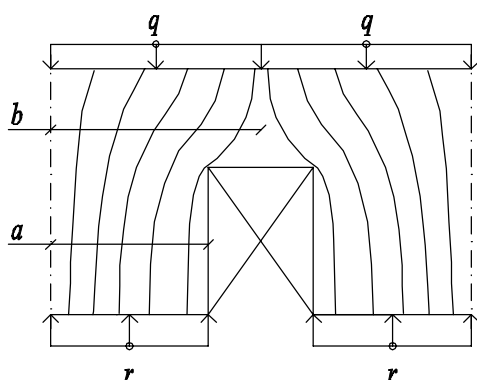
2.1.1 Kraftspel där dragstag nyttjas

Vid projektering av håltagningar i armerade betongväggar i samband med nyproduktion finns det möjlighet att använda sig av en beräkningsmetod som kallas fackverksanalogi. Denna metod används för att beräkna den armeringsmängd som krävs med hänsyn till bärförmågan hos sprucken armerad betong. Fackverksanalogi är enligt Svenska Betongföreningen (2012) en plasticitetsteoretisk metod för dimensionering i brottgränstillstånd. Plasticitetsteorin bygger på antagandet att det jämviktssystem som valts för dimensionering kommer uppnås efter plastiska spänningsomlagringar, vilket är möjligt om materialen har plastisk deformationsförmåga.

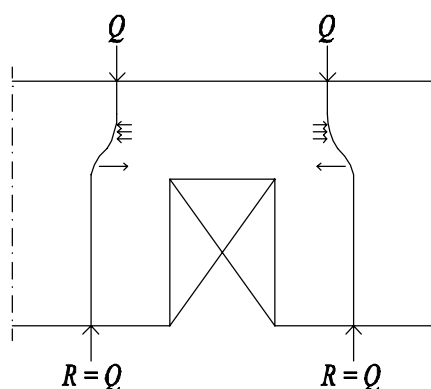
Lasten som avväxlingsbalken skall bära uppkommer från bjälklagens och väggarnas egentynad samt nyttig last från verksamheten i byggnaden. Denna last bidrar till en kraftfördelning och enligt Svenska Betongföreningen (2012) kan projektören själv välja ett motsvarande jämviktssystem i form av en fackverksmodell. För att den valda kraftfördelningen ska fungera så behöver fackverkets element så som dragstag, trycksträvor och noder dimensioneras. Vidare måste jämviktstvillkoren för dimensionerande last i brottgränstillstånd uppfyllas.

En lämplig fackverksmodell kan utvecklas med hjälp av kraftlinjemetoden som är ett förenklat sätt att beskriva spänningsfält. En fackverksmodell utvecklas med hjälp av kraftlinjemetod enligt följande:

- I första steget görs en enkel skiss av spänningsfältet såsom redovisas i figur 2.2. Det bör noteras att i detta fall blir den utbredda reaktionen r större än den utbredda lasten q eftersom den totala reaktionen vid sidan av hålet måste vara lika stor som den totala lasten över hela väggens bredd. Resultanterna är en summering av de utbredda lasterna q över en viss längd, b , och de betecknas Q i figur 2.3. För att väggen ska vara i jämvikt krävs det en reaktionskraft R som är lika stor som resultanten, där R är en summering av den utbredda reaktionskraften r över en viss längd, a . I figur 2.3 redovisas hur kraftlinjer läggs in beroende på resultanternas läge samt hur behovet av nödvändiga tvärgående krafter identifieras där kraftlinjerna ändrar riktning. Kraftlinjen bryter av vid två ställen. Först på samma höjd som ovansidan av håltagningen så bryts kraftlinjen mer koncentrerat på grund av den plötsliga sektionsändring, vilket ger upphov till behov av tvärgående dragkrafter. Den andra brytpunkten redovisas som en mer utdragen kurva på grund av att resultanten måste ändra läge i sidled, vilket medför behov av tvärgående tryckkrafter. Eftersom koncentrerade krafter eller markanta geometriska förändringar saknas blir förloppet mer utdraget över höjden.

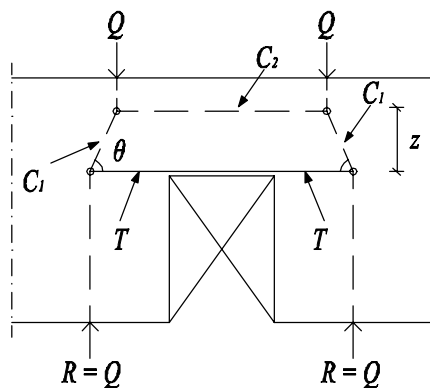


Figur 2.2 Kraftfördelning i belastad vägg med håltagning



Figur 2.3 Kraftlinjer, tvärgående krafter samt resultanternas läge

- I det avslutande andra steget så väljs nodernas placering och ytterligare idealiseringar görs för att utveckla fackverksmodellen. De nödvändiga tvärgående krafterna från steg 1 beaktas nu på olika sätt. Behov av tvärgående dragkrafter i fackverksmodellen, se figur 2.4, redovisas som heldragna linjer och representerar nu dragstaget med dragkraften T . Dragstaget utformas med hjälp av armering som gjuts in i betongen och förankras i noderna. Behov av tvärgående tryckkrafter redovisas i fackverksmodellen som streckade linjer och motsvarar trycksträvor med tryckkraften C_2 . Betongen tar själv hand om dessa krafter. Det vertikala avståndet mellan noderna utgör den inre hävarmen som betecknas z och styrs av den vinkel φ som bestäms av projektören. En rekommendation enligt Svenska Betongföreningen (2012) är att φ bör väljas omkring 60° , dock inte mindre än 45° eller större än 70° .



Figur 2.4 Fackverksmodell med trycksträvor, dragstag, noder samt valda vinklar

Beräkning av drag- och tryckkrafter samt armeringsbehov görs enligt Svenska Betongföreningens (2012). Krafterna som uppkommer i dragstag och trycksträvor beräknas enligt:

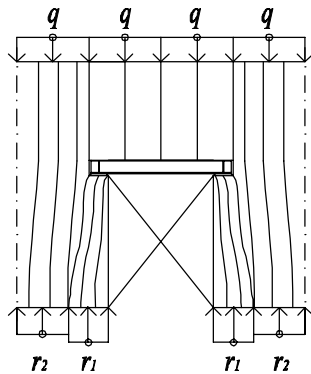
$$T = \frac{Q}{\tan \varphi} \quad T = C_2 \quad C_1 = \frac{R}{\sin \varphi}$$

För att fastställa armeringsbehovet krävs det att kraften i dragstaget är beräknad. Det är även nödvändigt att armeringens karakteristiska flytgräns f_{yk} är känd, detta eftersom den dimensionerande flytgränsen f_{yd} används i beräkningen. Det totala armeringsbehovet anges som tvärsnittsarean A_s och beräknas som:

$$A_s = \frac{T}{f_{yd}}$$

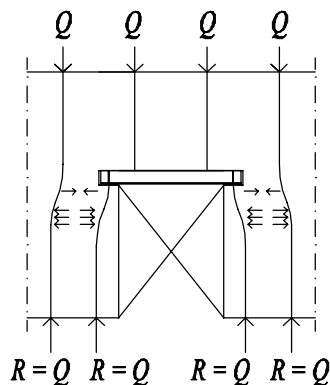
2.1.2 Kraftspel där avväxlingsbalk nyttjas

Om en håltagning skall göras i en befintlig vägg kan en avväxlingsbalk nyttjas. Avväxlingsbalken kan antas vara fritt upplagd. Detta kommer att leda till en annan kraftfördelning i jämförelse med kraftspelet där dragstag nyttjas i avsnitt 2.1.1. Lasten som verkar ovanför avväxlingsbalken kommer i teorin att gå rakt ner till balken för att sedan fördelas vidare till väggen såsom figur 2.5 visar.

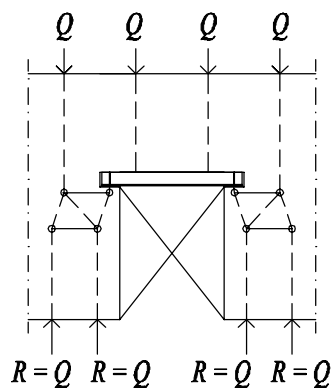


Figur 2.5 Kraftfördelning i belastad vägg med avväxlingsbalk ovan håltagning

Även i detta fall kan kraftspelet beskrivas med hjälp av kraftlinjemetoden, vilket visas i figur 2.6. En fackverksmodell kan användas för att tydligare visa var det uppstår tryckkrafter och dragkrafter. I figur 2.7 visas hur facksmodellen kan se ut i fallet då en avväxlingsbalk används. Trots att en avväxlingsbalk används så uppkommer dragkrafter i väggen.



Figur 2.6 Kraftlinjer, tvärgående krafter samt resultanternas läge

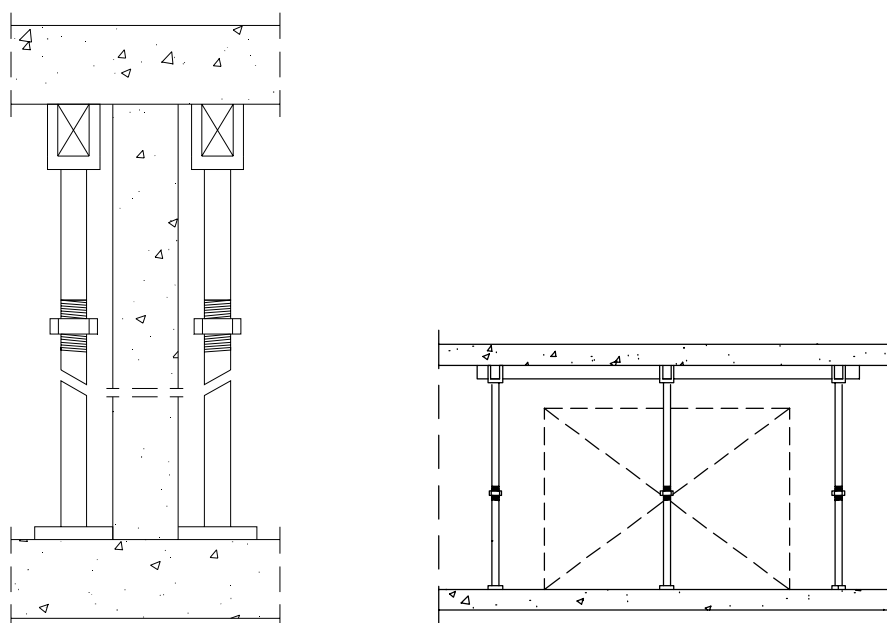


Figur 2.7 Fackverksmodell med trycksträvor, dragstag och noder

2.2 Stämpning

Vissa avväxlingsmetoder kräver att håltagningen utförs i befintlig vägg innan den ersättande avväxlingsbalken är aktiv och kan bära last. I detta skede måste väggen "avlastas" för att hindra att konstruktionen kollapsar då väggpartiet sågas ut. Den metod som används då kallas stämpning och redovisas i figur 2.8. Stämpning innebär att tillfälliga stöd sätts in som tar över last från väggen när håltagningen görs.

För att avlasta väggen med hjälp av stämp krävs det enligt Carlsson (2016-04-20) att det ovanliggande bjälklaget och även väggen högre upp i konstruktionen lyfts upp något. Det kommer att leda till att delar av lasten tas upp via stämpan, istället för genom väggen, vidare mot grundkonstruktionen. Då stämpan pålastas kommer bjälklagen över och under stämpan att utsättas för en punktlast. Projektören måste därför kontrollera vilka maximala laster som stämpan samt plattan/bjälklaget klarar av. När avväxlingsbalken är monterad kan stämpan avlastas succesivt och lasten förs därefter via väggen vidare till avväxlingen.



Figur 2.8 Stämp i tvärsnitt samt vy framifrån

2.3 Byggnadstekniskt brandskydd

Enligt Burström (2006) påverkas stålets mekaniska egenskaper då det utsätts för större temperaturökningar. I detta avsnitt redovisas vad som händer då stål utsätts för brand och hur det kan skyddas enligt Burström (2006). Då stål har en hög värmeledningsförmåga finns risk vid brand att andra material i kontakt med upphettat stål fattar eld. Den höga värmeledningsförmågan ger även upphov till temperaturbetingade rörelser som kan skada angränsande konstruktionsdelar. Det största problemet vid brand är hur stålets bärförmåga påverkas. Stålets egenskaper beror på hur stålet har bearbetats. För stål som är värmebehandlat gäller det att hållfastheten vid flytning minskar om stålet upphetas till 250°C medan kallarbetat stål tappar sin hållfasthetshöjande effekt vid 400°C. Krypdeformationen blir påtaglig

vid 400°C och tilltar därefter med ökande temperaturer. På grund av detta kräver avväxlingsbalkar av stål någon form av brandskydd. Det brandskydd som erfordras kan uppnås genom olika metoder.

2.3.1 Skyddsinklädning med gipsskivor

Vid framställning av gipsskivor används bland annat gipskristaller och kalciumsulfat med kemiskt bundet vatten. Då gipsskivan utsätts för höga temperaturer frigörs det kemiskt bundna vattnet och en process som kallas kalcinering påbörjas. Denna process kräver stora mängder energi och är anledningen till att den icke brandutsatta sidans temperaturökning begränsas och inte överstiger 100°C. Det kemiskt bundna vattnet ger gipsskivan dess brandskyddande förmåga.

2.3.2 Skyddsmålning med speciell brandskyddsfärg

Brandskyddsmålningen fungerar som ett brandisolerande skikt mot stålkonstruktionen. Då den skyddande färgen utsätts för högre temperaturer så sväller den upp och motverkar att konstruktionen utsätts för temperaturstegring som kan vara skadlig för stålet. Detta svällande färgskikt fungerar på liknande vis som gipsskivor och isolerar den bärande konstruktionen från brand och höga temperaturer.

2.4 Beständighet

Beroende på vilken miljö som avväxlingen utförs i så krävs olika åtgärder för att stålkomponenten ska vara beständig. Enligt Boverket (2015) skall byggnadsverksdelar som ingår i den bärande konstruktionen vara naturligt beständiga eller göras beständiga genom skyddsåtgärder och underhåll. Om det inte finns möjlighet att skydda byggnadsverksdelen permanent ska detta beaktas vid dimensionering då dess egenskaper förväntas förändras under hela livslängden. Något som påverkar stålets beständighet är om det utsätts för korrosion eller inte.

Korrosion av stål är en kemisk eller elektrokemisk reaktion. Korrosionen som uppstår kan anses vara en naturlig process som beror på hur framställningen av metallen gått till. Metallerna förekommer i naturligt tillstånd som föreningar i form av oxider, klorider, karbonater m.m. Genom kemisk reduktion där energi tillförs förädlas dessa föreningar till metall. Korrosionen uppstår genom att metallen återvänder till sitt ursprungliga energifattiga tillstånd. Detta sker genom att metallen oxideras. För att korrosion skall uppstå krävs att följande förutsättningar förekommer samtidigt enligt Burström (2006):

- Elektrolyt – Något som kan leda elektrisk ström och därför möjliggöra att joner förflyttas. Exempelvis en vätska.
- Potentialskillnad – Metall med olika korrosionspotential som är i kontakt med varandra. Den ädlare metallen kommer att bli negativ (katod) och den oädla metallen positiv (anod).
- Elektronacceptor – Ett ämne som gör det möjligt för elektrolyten att ta hand om elektronerna.

Då det uppstår en negativ spänning till följd av ett elektronöverskott i katoden, så kommer den ädla metallen att avge elektroner till elektrolyten. Katoden skadas aldrig av detta förlopp då den hela tiden upptar nya elektroner från anoden. Därför skyddas den ädla metallen då korrosionen först angriper den oädla metallen.

Det finns olika metoder som kan användas för att motverka att korrosion uppstår i konstruktionsdelar av stål. Risken för korrosion påverkas av konstruktionens utformning, materialval, ytbehandlingar och i vilken mån som konstruktionen kommer att utsättas för ogynnsam miljö enligt Burström (2006).

- Konstruktionens utformning – Göra konstruktionsdelar åtkomliga för inspektion samt när åtgärder erfordras för rostborttagning och ommålning. Utformning som hindrar att vatten blir stående kvar i konstruktionen.
- Materialval – Korrosionsbeständiga material väljs där åtkomlighet för underhåll och inspektion är dålig. För att korrosion skall kunna uppstå krävs det en potentialskillnad som uppstår genom någon form av kontakt mellan två metaller. Därför är det viktigt att undvika att kontakt mellan metaller uppstår.
- Ytbehandling:
 - Oxidskikt - Skyddar stålet genom att skiktet är tätt.
 - Metallbeläggning – Detta uppnås genom förzinkning. Stålet doppas i flytande zink. Då zinken stelnat skyddar det stålet genom sin täthet. Skulle zinksiktet skadas så skyddas stålet katodiskt då zinken är en mer oädel metall.
 - Emaljering – Förhindrar vatten och syre att nå metallen genom ett glasartat skikt som är tätt.
 - Rostskyddsmålning – Motverkar korrosion genom färgens täthet samtidigt som färgen innehåller ämnen som har förmågan att förhindra korrosionsangrepp. Vid användning av färg som innehåller zink skyddas metallen även katodiskt.
- Rostmån – Konstruktionens tjocklek ökas för att kompensera för förväntat rostangrepp och motsvarande tvärsnittsreduktion. Bortrostningsprocessen pågår under hela konstruktionsdelens livlängd.

Korrosionen som uppstår i en stålkonstruktion beror på dess omgivande miljö. De olika miljöerna delas in i olika korrosivitetsklasser som tabell 2.1 visar. Informationen i tabellen är sammanställd i Stålbyggnadsinstitutet (2008) utifrån SIS (2007)

Tabell 2.1 Korrosivitetsklasser med hänsyn till atmosfärens korrosivitet samt miljöexempel enligt Stålbyggnadsinstitutet (2008)

Korrosivitets- klass	Miljöns korrosivitet	Exempel på typiska miljöer	
		Utomhus	Inomhus
C1	Mycket liten	-	Uppvärmade utrymmen med torr luft och obetydliga mängder föroreningar, t.ex. kontor, affärer, skolor, hotell.
C2	Liten	Atmosfärer med låga halter luftföroreningar. Lantliga områden.	Icke uppvärmda utrymmen med växlande temperatur och fuktighet. Låg frekvens av fuktcondensation och låg halt luftföroreningar, t.ex. sporthallar, lagerlokaler.
C3	Måttlig	Atmosfärer med viss mängd salt eller måttliga mängder luftföroreningar. Stadsområden och lätt industrialiserande områden med visst inflytande från kusten.	Utrymmen med måttlig fuktighet och viss mängd luftföroreningar från produktionsprocesser, t.ex. bryggerier, mejerier, tvätterier, uppvärmda ishallar.
C4	Stor	Atmosfärer med måttlig mängd salt eller påtagliga mängder luftföroreningar. Industri och kustområden.	Utrymmen med hög fuktighet och stor mängd luftföroreningar, t.ex. kemiska industrier, simhallar, skeppsvarv, ej uppvärmda ishallar
C5-I	Mycket stor (Industriell)	Industriella områden med hög luftfuktighet och aggressiv atmosfär.	Utrymmen med nästan permanent fuktcondensation och stor mängd luftföroreningar.
C5-M	Mycket stor (Marin)	Kust- och offshoreområden med stor mängd salt i luften.	

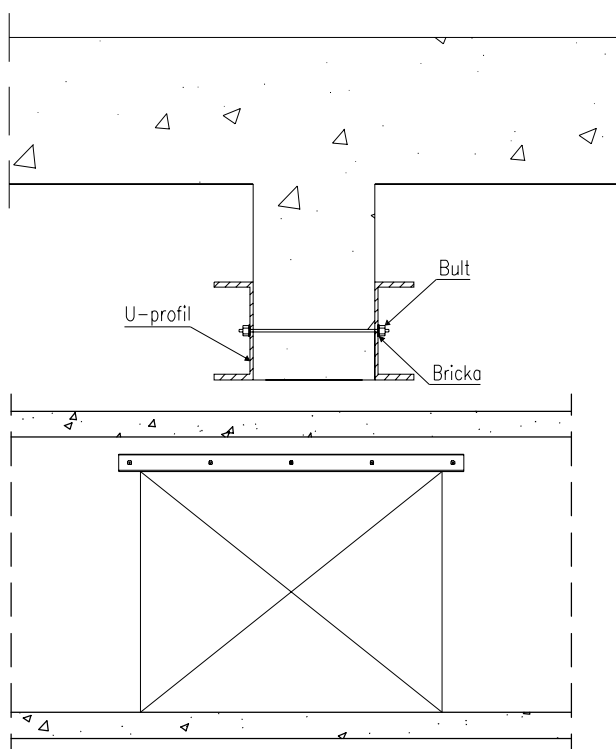
3 Vanliga avväxlingsmetoder

För att kunna göra en håltagning i bärande väggar så krävs det vanligtvis att den delen av väggen som sågas ut ersätts med en avväxling som leder lasten förbi öppningen. En avväxling kan se ut och fungera på olika sätt. I kapitel redovisas hur respektive avväxlingsmetod fungerar enligt Carlsson (2015-04-20).

3.1 Klämavväxling med U-profiler

Vid nyttjande av klämavväxling så används främst U-profiler i stål som monteras vardera sidan av väggen. Det är även möjligt att nyttja andra balkprofiler till klämavväxlingar. Dessa stål balkar kläms samman mot väggen med hjälp av bultar. Bultarna placeras i förborrade hål och kommer att klämma ihop U-profilerna så det uppstår friktion mellan stål balkarna och betongen. Denna avväxling monteras innan väggpartiet sågas ur och därför krävs inget stämpningsarbete.

För att fördela trycket som kommer att uppstå genom förspänningen av bultarna vidare mot stålet och betongen så används brickor. Brickorna placeras mellan stål balken och bulten som figur 3.1 visar, där kraftfördelningen direkt beror på brickans tjocklek och diameter/sidlängd. Brickan skall dimensioneras för att klara av de tryckkrafter som bultarna kommer att klämma U-profilerna med. Då avväxlingen aktiveras kommer stål balkarna att utsättas för dragkrafter och kommer i teorin att fungera på liknande sätt som om det vore dragarmering. Därför kommer ett kraftspel att utvecklas som liknar det kraftspel som beskrivs i avsnitt 2.1.1.

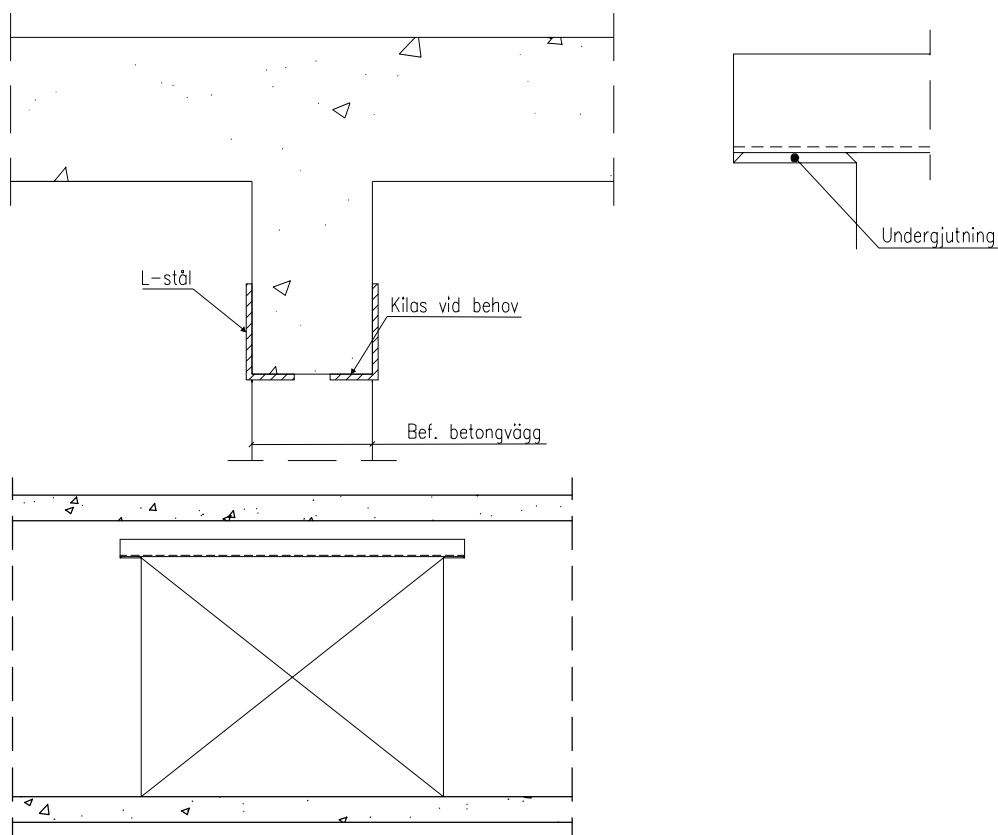


Figur 3.1 Tvärsnittsdetalj samt vy av klämavväxling

3.2 Infräsning av L-profiler

Vid infräsning av L-profiler används väggdelarna vid sidan om håltagningen som upplag för balkarna. Ur beräkningsperspektiv så antas balkarna vara fritt upplagda och förväntas bära de vertikala laster som belastar väggen ovanför öppningen. Vid montering av L-profilerna fräses ett spår på ena sidan i väggen och första balken monteras dit. När första balken är på plats så genomförs samma process på andra sidan för att få dit den andra L-profilen. Vanligtvis så placeras en L-profil på vardera sida om väggen men det förekommer även fall där bara en balk används. Syftet med att nyttja denna metod är att stämpningsarbetet till viss del kan undvikas då spåren som fräses för L-profilerna inte går helt igenom väggen. Det finns undantag där de frästa spåren går helt genom väggen och det leder även till att stämpningsarbetet måste utföras fullt ut.

De frästa spåren blir oftast inte helt raka vilket innebär att anläggningsytan mellan den kvarvarande väggen och L-profilerna inte blir så god som vore önskvärt. För att kompensera för detta så monteras kilar där det är en spalt mellan väggen och L-profilen för att jämna ut lasten. Mitt över avvaxlingen så går det bara att montera kilar på en av balkarna då kilarna placeras dit efter att spåret på andra sidan väggen har frästs ur. Detta kräver stämpningsarbete eftersom spåret är fräst genom hela väggen. Vid upplagen så placeras även kilar under balkarna och på så vis pressas balken upp mot väggen. Efter att kilarna är på plats så görs en undergjutning vid upplagen som visas i figur 3.2. Som figuren visar bör undergjutningen sluta några centimeter från väggens fria kant för att inte hörnet skall krossas på grund av balkens deformation.



Figur 3.2 Tvärsnittsdetalj, upplagsdetalj samt vy av avväxlingsbalk med L-profiler

3.3 Avväxling med I-profil

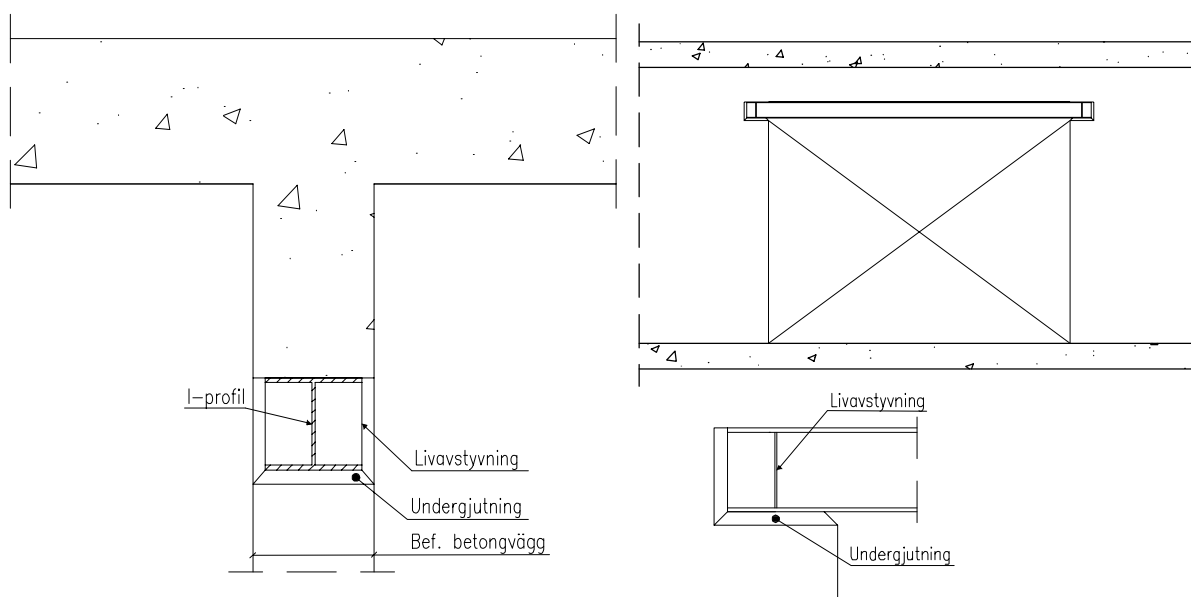
Denna avväxlingsmetod fordrar en extra hög håltagning eftersom I-profilen placeras direkt under väggen vid hålets överkant. Det förekommer även avväxlingar med andra balkprofiler som fungerar på samma sätt. För att kunna använda sig av denna avväxlingsmetod så krävs det stämpningsarbete. Stämpningsarbetet är viktigt för att väggen skall kunna avlastas innan väggpartiet sågas ut och avväxlingsbalken är förberedd för att klara av att bära last.

Vid beräkning så antas balken vara fritt upplagd och även i detta fall förväntas balken att utsättas för en vertikal last från väggen ovanför öppningen. Beroende på vad som efterfrågas och vad det finns möjlighet till så kan upplagen se olika ut.

3.3.1 Avväxling med I-profil upplagd på befintlig vägg

För att balken skall kunna läggas upp på den befintliga väggen så sågas det ut ett urtag uppe i varje hörn som det redovisas i figur 3.3. När balkens upplag är utsågade så monteras balken mot underkanten av den befintliga väggen. Kilar används vid behov om anläggningsytan inte är tillräckligt jämn. För att få ett fördelat upplagstryck och undvika ojämn anläggning görs en undergjutning. Även i detta fall så bör undergjutningen sluta ett par centimeter från upplagets fria kant så det inte krossas då balken deformeras.

De vertikala laster som belastar avväxlingsbalken kommer att ledas vidare ner i under och intill upplagshyllorna. Storleken på undergjutningen mellan balken och upplaget påverkar hur lasten fördelas och sprids i väggen. Om anläggningsytan mellan balken och upplaget är för liten kan det leda till för stora påkänningar under upplaget. Det kan då till exempel uppkomma sprickor i väggen. Vid dimensionering bör därför storleken på upplagen väljas med omtanke så att den vertikala lasten inte ger upphov till tryckspänningar som är farliga för betongväggen.

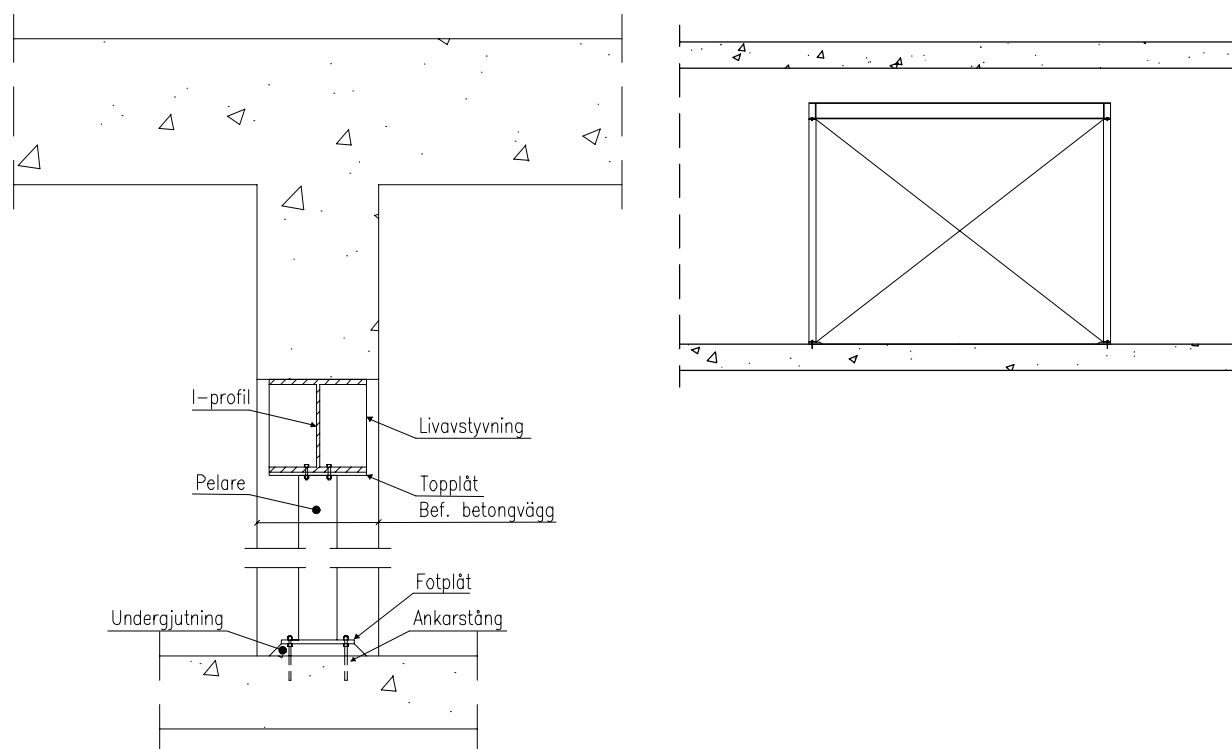


Figur 3.3 Tvärsnittsdetalj, upplagsdetalj samt vy av avväxlingsbalk med I-profil

3.3.2 Avväxling med I-profil upplagd på pelare

Vid användning av pelare som stöd behöver håltagningen göras extra stor i sidled. Detta för att få den öppningsbredd som önskas då pelarna inkräktar på öppningen jämfört med om väggen nyttjas som upplaga. Balken monteras direkt under håltagningens övre kant. I plattan/bjälklaget direkt under pelaren förborras hål där ankarstänger förankras genom att de gjuts fast med någon form av expanderande betong. En fotplåt är fastsvetsad i pelaren och i den har det förborrats hål för ankarstängerna. Pelaren med plåten placeras över ankarstängerna som har en mutter på respektive ankarstång. Dessa muttrar har skruvats fast på ankarstängernas gängor och är placerade under fotplåten. Pelaren spänns upp mot avväxlingen genom att muttrarna på ankarstängerna skruvas upp mot fotplåten och på så vis trycks pelaren mot avväxlingsbalken som figur 3.4 visar.

Om bultarna ankarstängerna är dimensionerade för att bära lasten i monteringsskedet så krävs det att en undergjutning görs innan pelarna börjar belastas med tillkommande last. Efter att undergjutningen under fotplåten är utförd så tar ankarstängerna inte längre någon väsentlig last. Vertikal last som avväxlingsbalken genererar en koncentrerad last på underliggande bjälklag och vägg. Därför krävs det en kontroll med avseende på väggens bärförmåga.



Figur 3.4 Tvärsnittsdetalj samt vy av avväxlingsbalk med I-profil upplagd på pelarsystem

3.4 Dimensionering av avväxlingbalk som är fritt upplagd

Vid dimensionering av en avväxlingsbalk som är fritt upplagd så bör fyra olika egenskaper verifieras. Dessa är momentkapacitet, tvärkraftskapacitet, bärförmåga med avseende på interaktion mellan moment- och tvärkraftskapacitet samt nedböjning av balken. I beräkningsskedet anses det att infrästa L-profiler och avväxlingsbalkar med I-profiler är fritt upplagda. Detta leder då till att det går att nyttja samma beräkningsmodell för dessa två avväxlingsmetoder enligt Carlsson (2015-04-20).

3.4.1 Momentkapacitet

För beräkning av momentkapaciteten så krävs det kännedom om stålets flytspänning, partialkoefficient med avseende på materialets hållfasthet, en reduktionsfaktor med avseende på vippning samt tvärsnittets böjmotståndet. Då de ovan nämnda avväxlingsmetoderna använder sig av samma beräkningsmodell så blir det bara böjmotståndet som skiljer metoderna åt. Böjmotståndet kan definieras som plastiskt eller elastiskt böjmotstånd och vilket som tillämpas beror på balkens tvärsnittklass som i sin tur beror av balkens livhöjd, livtjocklek, flänsbredd och flänstjocklek. Vid användning av L-profiler så används två balkar vanligtvis, som i teorin anses vara lika belastade. Detta leder då till att ena L-profilbalkens böjmotstånd skall vara hälften så stort som I-profilens böjmotstånd för att de ska ge samma momentkapacitet, se beräkningsgång enligt Al-Emrani, Engström, Johansson, Johansson (2013) i Bilaga A. Momentkapaciteten dimensioneras enligt:

$$M_{b.Rd} = c_{LT} \cdot W \cdot \frac{f_y}{g_{M1}}$$

3.4.2 Tvärkraftskapacitet

Tvärkraftskapaciteten kan beräknas på två olika sätt beroende på om tvärsnittet riskerar skjuvbuckling eller inte, se beräkningsgång enligt Al-Emrani, Engström, Johansson, Johansson (2013) i Bilaga B. Om tvärsnittet inte riskerar skjuvbuckling krävs kännedom om stålets flytspänning, skjuvningsarean samt en partialkoefficient med avseende på balkens bärförmåga. Tvärkraftskapaciteteten dimensioneras då enligt:

$$V_{pl.Rd} = A_v \cdot \frac{f_y \cdot \sqrt{3}}{g_{M0}}$$

Skulle risken för skjuvbuckling föreligga krävs en annan beräkningsmodell där andra förutsättningar gäller. Viktigt är då att stålets flytspänning, balkens livhöjd, balkens livtjocklek, partialkoefficient med avseende på materialets hållfasthet samt att skjuvbucklingskoefficienten är kända. Tvärkraftskapaciteteten dimensioneras då enligt:

$$V_{bw.Rd} = c_w \cdot h_w \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{g_{M1} \cdot \sqrt{3}}$$

3.4.3 Interaktion mellan moment- och tvärkraftskapacitet

I vissa fall räcker det inte att bara kontrollera momentkapacitet och tvärkraftskapacitet var för sig. Då måste man kontrollera att balken har tillräcklig kapacitet med avseende på ogynnsam samverkan mellan moment och tvärkraft. Bilaga C visar hur den kontrollen utförs enligt Al-Emrani, Engström, Johansson, Johansson (2013).

3.4.4 Nedböjning

Den sista kontrollen som utförs gäller avväxlingens balkens nedböjning. En balk som är påtagligt nedböjd kan ge ett otryggt intryck på omgivande människor enligt Carlsson (2016-04-20) och därför finns det gränsvärden att utgå från vid dimensionering av nedböjning. Vid dimensionering av balkar i väggkonstruktioner används gränsvärdet, $L/100$, där L är balkens längd i millimeter enligt Boverket (2015). Detta gränsvärde är olika för olika konstruktioner. För att avväxlingsbalken ska fungera på avsett sätt är det också viktigt att den är tillräckligt styv. Nedböjningen får därför inte vara för stor.

3.5 Dimensionering av klämavväxling där friktion nyttjas

Vid dimensionering friktionsförband i stålkonstruktioner bör två principer tillämpas enligt Al-Emrani, Engström, Johansson, Johansson (2013):

- Friktionsförband i bruksstadiet; hela kraften överförs genom friktion i anläggningsytorna.
- Friktionsförband i brottstadiet efter viss glidning i förbandet; kraften överförs dels genom friktion, dels på grund av anläggningsstryck efter att skruven förskjutits i hålet.

Vid användning av klämavväxlingar så är de förrborrade hålen större än skruvarna/bultarna och risk för glidning föreligger. Att dimensionera ett friktionsförband med avseende på bärförmåga och med hänsyn till glidning kräver därför olika fakta om konstruktionen. Det som är viktigt att veta är antalet friktionsytor/antalet skruvar, friktionskoefficienten, förspänningskraften, eventuell dragkraft i förbandet. Bilaga D visar hur dimensionering av ett friktionsförband med hänsyn till glidning skall se ut enligt Al-Emrani, Engström, Johansson, Johansson (2013). Dimensionering av friktionsförband utförs enligt:

$$F_{s,Rd} = \frac{(n \cdot m \cdot (F_{p,Cd} - 0,8 \cdot F_t))}{g_{ms}}$$

4 Entreprenörers perspektiv

I detta kapitel redovis hur några utvalda representanter uppfattar att arbeta med olika avväxlingsmetoder och avväxlingsprojekt generellt. Informationen har framkommit genom intervjuer som baseras på ett frågeformulär som återfinns i Bilaga E.

4.1 Fördelar och nackdelar med respektive avväxlingsmetod

Då en vägg skall avväxlas så beror val av metod och komponenter på hur det skall se ut när det är klart och vad som är billigast, både vad gäller materialkostnad och arbetskostnad. Lösningarna skiljer sig åt från fall till fall när det gäller detaljerna. Det finns inga egentliga likheter avväxlingsmetoderna emellan utan varje metod är unik Fyhr (2016-04-01).

4.1.1 Klämavväxling med U-profiler

Att använda sig av klämavväxlingar kan vara en nackdel om portar skall monteras in i öppningen enligt Andersson (2016-04-28). En fördel med klämavväxlingar är att avväxlingen kan göras innan håltagningen. Denna metod är den lättaste att använda sig av enligt Andersson (2016-04-28) och Fyhr (2016-04-01) som entreprenör, då balkarna placeras på vardera sida om väggen och bultas fast genom förborrade hål.

I avsnitt 3.1 har bara avväxlingsbalkar med U-profil tagits upp som ett exempel men det förekommer lösningar med andra tvärsnittsprofiler som fungerar på liknande vis. Andersson (2016-04-28) och Fyhr (2016-04-01) har sett att även VKR-stål, plattstål och gängstång används till klämavväxlingar på arbetsplatser. De anger även att klämavväxling är den vanligast förekommande avväxlingsmetoden.

4.1.2 Infräsning av L-profiler

I avsnitt 3.2 presenteras bara avväxling med hjälp av L-profiler som fräses in i betong men är enligt Andersson (2016-04-28) en bra lösning att nyttja vid avväxling av tegelväggar. Detta anses fungera bra då bruket mellan tegelstenarna fräses bort för placering av L-profilerna. Svårare är det om avväxlingen skall utföras i en betongkonstruktion då betongen är svårare att hantera än bruket mellan tegelstenarna.

Det är vanligt att spåret som fräses i betongen inte blir fullkomligt rakt. Det leder till att anläggningsytan mellan L-profilerna och väggen ovanför håltagningen blir sämre, som i sin tur leder till en extra arbetsinsats för att förbättra anläggningsytan. Enligt Andersson (2016-04-28) uppfattas denna metod som problematiskt då fräsningsarbetet samt montering av balkar oftast måste göras från två håll innan det finns möjlighet att göra hålet, om inte fullständigt stämpningsarbete har utförts. Samtidigt som arbetet uppfattas vara problematiskt så undviks andra svårigheter. Då spåren fräses från två håll och inte helt genomgående så förväntas väggen fortfarande att kunna bära last. Det leder till att stämpningsarbetet inte behöver göras lika utförligt som om spåren skulle gått rakt igenom väggen.

4.1.3 Avväxling med I-profiler

Att använda sig av en avväxlingsbalk utefter hålets övre kant uppfattas vara problematiskt då håltagningen måste göras extra hög för att kompensera för det utrymme som krävs för avväxlingsbalken. Den största problematiken uppfattas vara att det är svårt att avlasta väggen under tiden som håltagningen görs med en tillfällig bärning, med hjälp av stämp.

Avväxlingsbalken kan läggas upp på olika sätt som redovisas i avsnitt 3.3. Svårigheten med att använda väggen vid sidan om håltagningen som upplag för balken är den sågning och det borraringsarbete som tillkommer för att ”skapa” upplaget. Det vanliga är att borrar och urbilning av urtag för upplagen sker före den egentliga håltagningen. Den tillfälliga bärningen bör vara i bruk redan då urtaget för upplagen utförs.

4.2 Material- & arbetskostnad

Enligt Fyhr (2016-04-01) är det svårt att uppskatta vilken avväxlingsmetod som är billigast generellt. Materialkostnaden och arbetskostnaden påverkas av den konstruktion som skall avväxlas och därför går det inte att säga vilken som är den billigaste metoden då det skiljer sig från fall till fall.

Det finns dock konkreta fall där valet av avväxlingsmetod och därmed balkprofil anpassas till konstruktionens förutsättningar samt arbetskostnaden. De tydligaste exemplen som representanterna för entreprenörer gav under intervjuerna är:

- Om avväxlingen skall anpassas till portomfattningar så är det oftast mest ekonomiskt att anpassa avväxlingsmetod/balkstorlek till kravet på infästningsyta från porten. Detta eftersom portar i vanliga fall produceras i vissa givna storlekar där höjden är standardiserad. Det gäller därför att välja en avväxlingsmetod och avväxlingsbalk som inte inkräktar på eventuella porthöjder enligt Andersson (2016-04-28).
- Om en tegelvägg skall avväxlas så är infräsning av L-profiler mest ekonomisk. Tegelväggar kräver inte så mycket tid vad gäller fräsningen av spåret enligt Andersson (2016-04-28).
- Om en avväxling skall göras för ett framtida fönster så är det vanligt att en L-profil placeras med balklivet på insidan av väggen. Då entreprenören inte vill påverka fasadens utseende så används en L-profil som är relativt lätt att gömma i en eventuell karm jämfört med användning av en I-profil enligt Fyhr (2016-04-01).

I de flesta övriga fall så påverkar inte materialkostnaden valet av avväxlingsmetod. Arbetskostnaden för de olika avväxlingsmetoder är mer kostnadsdrivande på grund av det extra arbete som tillkommer med hänsyn till säkerhet och annat kringarbete.

4.3 Moment som projektörer ofta missar enligt entreprenör

För att avväxlingsarbete skall utföras på ett säkert sätt så ska det alltid medfölja en utförandebeskrivning när ritningarna skickas från projektören. Vid intervjuerna med Andersson (2016-04-28) och Fyhr (2016-04-01) framkom att dessa utförandebeskrivningar inte alltid uppfattas som fullständiga. Det som då ofta saknas är i vilken ordning som olika moment inom rivningsarbete respektive avväxlingsarbete skall utföras i. Skulle en olycka inträffa och någon skadas vill entreprenören inte vara ansvarig för detta och vill därför att utförandebeskrivningen skall vara så utförlig och tydlig som möjligt. Anledningen till att entreprenörer vill ha en tydlig utförandebeskrivning är för att projektören har förutsatt ett visst utförande i sina beräkningsantaganden, tex. beträffande tillfällig bärning. Dessutom har projektören bättre försäkringar om en skada eller olycka skulle uppkomma.

En utförandebeskrivning beskriver hur avväxlingsarbetet och rivningsarbetet skall utföras. Svårigheter kan uppkomma tidigare än så då balkar, som är både långa och tunga, skall transporteras till den plats i byggnaden där de ska nyttjas. Hur intransporten ska utföras är något som inte anges i ritningarna, inte heller hur eventuella risker i detta moment ska beaktas enligt Andersson (2016-04-28).

En annan viktig detalj som oftast saknas helt på ritningarna är enligt Andersson (2016-04-28) hur kravet på konstruktionens bärförmåga vid brand ska uppfyllas och vad entreprenören förväntas göra i detta avseende. Då byggnadstekniskt brandskydd inte beaktas tidigare i byggprocessen så brukar det innebära att dyra inklädningar tillkommer i efterhand.

5 Projektörers perspektiv

Informationen i detta kapitel baseras på intervjuer av några utvalda representanter för projektörer. Intervjuerna genomfördes utgående från ett frågeformulär som återfinns i Bilaga F.

5.1 Fördelar och nackdelar med respektive avväxlingsmetod

Såsom redovisas i avsnitt 2.1 kan lasten som verkar ovanför håltagningen fördelas i väggen på olika sätt. Beroende på avväxlingsmetod kan det insatta stålelementet antingen belastas av vertikal last eller dragkraft. Syftet med avväxlingsmetoderna är att omfördela vägglasten till områdena intill håltagningen för att lasten sedan ska kunna föras vidare till grundkonstruktionen i marken.

5.1.1 Klämavväxling med U-profiler

Klämavväxlingar bygger på att U-profilerna blir belastade med dragkraft. Detta sker genom friktionen som uppstår mellan betongen och U-profilerna. Hela tvärsnittet blir draget då betongen deformeras tillsammans med balken. Detta sker då friktionen mellan materialen är tillräckligt stark. Problematiken att använda sig av denna metod, enligt Carlsson (2016-05-10) och Beets (2016-04-13), är att den absolut största friktionen uppstår kring bultarna då trycket är som störst där. Det betyder att det svårt att få jämnt fördelad friktionsspänning utefter hela U-profilens längd. Detta påverkar hur tätt bultarna ska placeras.

Av intervjuerna framkom att det visuella intrycket av denna typ av avväxling inte är så fördelaktig estetiskt. Denna avväxlingsmetod påverkar väggens estetik då balkarna kläms fast utvändigt på vardera sida om väggen. U-profilen är även svår att klä in med brandisolerande skikt/gipsskivor så att det anpassas till omgivningen.

5.1.2 Infräsning av L-profiler

Att använda sig av infrästa L-profiler fungerar bra till en viss gräns vad gäller last respektive spännvidd. L-profilerna är i jämförelse med I-profilerna relativt veka och enligt Carlsson (2016-05-10) leder detta till att denna metod ibland inte är ett möjligt alternativ.

Vid dimensionering av avväxlingsbalkarna så antar projektören att båda L-profilerna tar lika mycket last vilket leder till att böjmotståndet för respektive balk blir lika stort. De infrästa L-profilerna förväntas inte att utsättas för dragkrafter enligt Carlsson (2016-04-20). Skulle ytterligare dragkrafter i väggen uppstå till följd av att det blir en blandning mellan kraftspelen, som presenteras i avsnitt 2.1.1-2.1.2, så förutsätter projektören att väggen med sin befintliga armering kan ta hand om de dragkrafter som uppstår.

5.1.3 Avväxling med I-profiler

Carlsson (2016-05-10) anger att I-profil ibland kan väljas med avseende på tjockleken hos väggen som skall avväxlas. Anledningen till detta är att balken skall kunna kläs in med något brandisolerande skikt/gipsskivor utan att det ska bli någon nivåskillnad mellan väggens och gipsskivans ytskikt. En inklädning kan dock leda till problem ifall balken får stora deformationer. Om balken deformeras mycket kan gipsskivan komma att dras isär från väggen runt håltagningen och det kommer att se ut som en spricka i väggen.

Då väggen vid sidan om håltagningen nyttjas som upplag för I-profilerna krävs det enligt Beets (2016-04-13) att väggen under upplaget kontrolleras som en pelare. Denna beräkning kan vara svår att utföra fullständigt korrekt då det är svårt att veta den befintliga väggens uppbyggnad och hur armeringen ligger. Enligt kraftspelet som redovisas i avsnitt 2.2.2 sprids kraften från upplaget vidare i väggen i olika omfattning beroende av hur mycket last som förs ner i avväxlingsbalken. Denna spridning påverkar hur pelarberäkningen skall utföras.

Som framgår avsnitt 3.4 så antas att upplagda I-profiler och infrästa L-profiler fungera på samma sätt. Det som redovisas om dragkrafter och kraftspel i avsnitt 5.1.2 gäller därför även vid avväxling med hjälp av I-profiler.

5.2 Samordning

Vid olika typer av projekt krävs det som regel någon form av samordning med andra discipliner. Enligt Carlsson (2016-05-10) sker samordning vanligtvis med arkitekter men även att andra discipliner kan vara inblandade beroende på projektets omfattning. Arkitekter vill helst inte att avväxlingen skall vara synlig och i kontor och liknande lokaler är det idag vanligt att ett innertak byggs in. Projektörer försöker då om möjligt att placera avväxlingsbalken på en sådan nivå att det framtida/befintliga innertaket kommer att dölja avväxlingen.

När det gäller avväxlingar inom industrier är det bestående utseendet inte så viktigt. Då är det vanligt att projektören själv arbetar i kontakt med beställaren, men även här finns det undantag där andra discipliner är inblandade.

5.3 Förutsättningar

Idag görs avväxlingar främst i äldre byggnader där det kan vara svårt att få tag i gamla ritningar. Enligt Carlsson (2016-05-10) leder detta till att uppskattningar av vägghöjder, vägg tjocklar och liknande måste göras. Det är därför svårt att bestämma hur mycket last som ska kunna tas upp av en avväxling samt om snölast och vindlast kan komma att påverka avväxlingen. Valet av avväxlingsmetod kan påverkas av hur väggen är uppbyggd. Finns det begränsad information om konstruktionens uppbyggnad så är det vanligast att avväxla väggen med hjälp av en upplagd I-profil.

6 Utvärdering och analys

Den information som framkom genom litteraturstudier och intervjuer har utvärderats och analyserats. Vidare har undersökande beräkningar utförts. I detta kapitel presenteras resultatet av denna bearbetning.

6.1 Avväxlingsmetoder

6.1.1 Klämavväxling

Att nyttja sig av klämavväxlingar kan idag vara svårt ur projektörens perspektiv med avseende på beräkningarna som skall utföras. Vid dimensionering av klämavväxlingar uppfattas det som svårt att uppnå den friktion som krävs längs med hela balken och inte bara i närheten av bultarna där förspänningstrycket appliceras. Detta bör egentligen inte vara ett bekymmer då anläggningstryck kan tillgodoräknas om friktionen inte är tillräckligt stor. Förspänningskraften kan även avta med tiden vilket leder till att förbandet glider och anläggningstryck uppkommer.

I jämförelse med projektörens beräkningar så är entreprenörens arbete inte lika komplicerat. Det mest komplicerade som entreprenören ställs inför är att bultarna måste förspännas med den kraft som specificeras för att friktionsförmågan skall bli tillräcklig. Denna avväxlingsmetod är alltså svår att använda sig av för projektören medan den är lättare att utföra för entreprenören. Estetiskt är den även svår att passa in med den övriga omgivningen.

6.1.2 Infräsning av L-profil

Vid användning av infrästa L-profiler så är beräkningarna för projektören inte så komplicerade att utföra. Svårigheten är att uppnå det avsedda kraftspelet enligt avsnitt 2.1.2. Vid dimensionering av L-profilerna förutsätter projektören att båda balkarna tar lika mycket last och därmed blir balkarnas böjmotstånd lika. I teorin kan man anta att lasten fördelas lika mellan de två balkarna, men det betyder inte att det alltid fungerar så i praktiken. Som projektör är det därför viktigt att göra flera antaganden där L-profilerna belastas olika mycket. Det är därför vanligt att balkarna på säker sida överdimensioneras. Som framgår av avsnitt 4.2 så är materialkostnaden inte drivande och därför anses det vara acceptabelt att balkarna överdimensioneras för att vara på säkra sidan. Detta gäller inte bara i fallet med L-profiler utan det gäller överlag, hellre en överdimensionerad balk än att det finns en risk för skador i vägg eller avväxling.

Som entreprenör är det viktigt att vara noggrann då spåren fräses ur för att anläggningsytan mellan väggen och L-profilen skall bli så jämn som möjligt. Med hänsyn till estetik är denna typ av avväxlingsbalk lättare att dölja än en klämavväxling.

6.1.3 Avväxling med I-profil

Då avväxlingsbalkar med I-profil anses fritt upplagda precis som L-profilerna så är beräkningarna för denna avväxlingsmetod inte komplicerade utan även här är svårigheten att få det kraftspel som förväntas enligt avsnitt 2.2.2. För entreprenören gäller det att vara noggrann då upplaget sågas i väggen för att inte översåga. Översågning innebär att spåret sågas för långt och det blir en spalt i väggen. Detta kan påverka konstruktionens bärförmåga. Att inte översåga gäller generellt för alla typer av håltagningar.

6.2 Materialkostnad & arbetskostnad

Vid intervjuerna med representanter för entreprenörer så framkom det att materialkostnaden för stålet inte påverkar valet av avväxlingsmetod utan det är arbetskostnaden som är drivande. Detta kan delvis bekräftas utifrån tvärsnittsdata som nyttjas vid beräkning av momentkapacitet hos en fritt upplagda balkar. I tabellerna 6.1 & 6.2 jämförs I-profiler och L-profiler med avseende på tvärsnittsarea och böjmotstånd. För att uppnå samma böjmotstånd kräver L-profilerna större tvärsnittsarea än vad I-profilerna gör och blir därför dyrare med hänsyn till materialkostnad. Emellertid kan infrästa L-profiler ändå föredras av andra skäl.

Tabell 6.1 Böjmotstånd och tvärsnittsarea för L-profiler enligt Tibnors konstruktionstabeller (2010)

Vinkelstång (L-profil)	Elastiskt Böjmotstånd – Enkel balk	Elastiskt Böjmotstånd – Dubbla balkar	Area - Enkel balk	Area- Dubbla balkar
	W_{el} [mm ³]	W_{el} [mm ³]	[mm ²]	[mm ²]
L130x65x10	38,4*10 ³	76,8*10 ³	1860	3720
L130x65x12	45,5*10 ³	91,0*10 ³	2210	4420
L150x75x9	46,8*10 ³	93,6*10 ³	1950	3900
L150x100x10	54,1*10 ³	108,2*10 ³	2450	4900
L150x100x12	64,2*10 ³	128,4*10 ³	2870	5740
L150x100x14	74,1*10 ³	148,2*10 ³	3320	6640
L180x90x10	75,1*10 ³	150,2*10 ³	2620	5240
L180x90x12	89,0*10 ³	178,0*10 ³	3110	6220
L200x100x10	93,2*10 ³	186,4*10 ³	2920	5840
L200x100x12	111*10 ³	222,0*10 ³	3480	6960
L200x100x14	128*10 ³	256,0*10 ³	4030	8060
L200x100x16	145*10 ³	290,0*10 ³	4570	9140

Tabell 6.2 Böjmotstånd och tvärsnittsarea för I-profiler enligt Tibnors konstruktionstabeller (2010)

I-profil Nr	Elastiskt Böjmotstånd	Plastiskt Böjmotstånd	Area [mm ²]
	W _{el} [mm ³]	W _{pl} [mm ³]	
HEA 100	72,8*10 ³	83,0*10 ³	2124
HEA 120	106*10 ³	119*10 ³	2534
HEA 140	155*10 ³	173*10 ³	3142
HEA 160	220*10 ³	245*10 ³	3877
HEA 180	294*10 ³	325*10 ³	4525

Även om materialkostnaden i normala fall inte antas påverka valet av avväxlingsmetod så finns det fall där det kan vara värt att noggrant analysera alla kostnader för material och arbete som kan tillkomma. Att använda sig av en avväxlingsbalk med I-profil kan ske på två olika sätt. Antingen nyttjas väggen vid sidan av håltagningen som upplag eller så används pelare i stål. Med respektive metod medföljer vissa arbetskostnader och även materialkostnader.

Metod 1 – Väggen används som upplag för balken

- Hålets vertikala sidor blir synliga och måste jämnas ut.
- Urtag måste göras i väggen för balkens upplag.
- Stål tillkommer då balken blir längre på grund av att balken läggs upp på väggen vid sidan om håltagningen.

Metod 2 – Pelare i stål används som upplag för balken

- Pelarna skymmer hålets vertikala sidor som därför inte behöver jämnas ut.
- Monteringsanordningar och monteringsarbeten tillkommer för balk och pelare.
- Undergjutning av pelaren tillkommer.
- Stål tillkommer för stålpelare.

Vid analys av de två olika metoderna kan man konstatera att metod 2 kräver mer stål då pelarna är längre än balkens extra längd vid uppläggning på väggen intill håltagningen. Det tillkommer även olika typer av arbetsmoment för respektive metod. En kostnad som kan variera från fall till fall i metod 1 är kostnaden som tillkommer till följd av att väggen måste jämnas ut då den inte skymms av pelare. Omfattningen av detta arbete beror på hur noggrann entreprenören varit då väggpartiet sågats ut. Desto noggrannare arbetet utförts, desto lägre blir den tillkommande kostnaden.

6.3 Information som saknas på ritningar

Inom byggbranschen är två aspekter extra viktiga och det är hur säkerhet och ekonomi beaktas och därigenom styr arbetet. I byggbranschen utförs det arbete som avtalats i kontraktet. Bakgrunden till att entreprenörer idag anser att viss information saknas på ritningarna är för att projektörer inte får betalt för att hantera exempelvis brand eller hur intransporten av tunga balkar skall gå till i byggnaden.

Om projektören skulle få betalt för att hantera brand och intransport av material från början så skulle det kunna generera en mer enhetlig och genomtänkt lösning. Detta eftersom hela arbetsprocessen bör vara fastställd innan arbetet startar, istället för att snabba och panikartade lösningar skall utföras under arbetets gång. Om alla moment vad gäller brandskydd och intransport av material är fastställda från början så bör det generera i en bättre slutprodukt. Projektören har då bättre kunnat styra sitt val av avväxlingsmetod då dessa aspekter kunnat beaktas under hela projekteringsprocessen.

En projektör får idag ett visst antal timmar till varje projekt. En uppfattning är att beställare idag inte har förståelse för den tidsåtgång som krävs för att projektera en avväxling. Till följd av detta så kan utförandebeskrivningen, som tas fram i slutet av projektet, bli lidande då tiden för projektet börjar ta slut. Enligt Fyhr (2016-04-01) önskar entreprenörer väldigt tydliga riktlinjer för hur arbetet ska utföras för att de ska vara skyddade av försäkringar om skada eller olyckstillbud inträffar. En annan synpunkt gällande utförandebeskrivningen är att den inte ska utformas alltför detaljrikt, utan att det istället bara ska anges riktlinjer för hur slutprodukten skall vara utformad. Detta eftersom det ger entreprenören möjlighet att tolka utförandebeskrivningen på det sätt som denne anser vara lämpligast med hänsyn till egen förmåga under förutsättning att slutprodukten uppfyller ställda funktionskrav.

6.4 Kraftfördelning

Beroende på avväxlingsmetod kommer kraftfördelningen i väggen att se ut på olika sätt. Projektören måste anta en kraftfördelning för att kunna utföra beräkningar för den avväxlingsmetod som valts. Vid dimensionering av avväxlingsbalkar antas att avväxlingen ska bära all last, men vad som kan vara svårt att uppskatta är hur mycket last som verkligen leds ner i avväxlingsbalken.

När en projektör dimensionerar en avväxlingsbalk som skall utsättas för vertikalt last så antas att lasten leds rakt ned i avväxlingen via väggen. Det som då kan uppstå är att väggen på grund av styvhetsförhållanden leder lasten en annan väg, vilket kan påverka väggen negativt, exempelvis i form av okontrollerad sprickbildning. Om lasten inte förs ner i avväxlingen så kommer andra delar i väggen att påverkas och då kommer kraftspelet att likna det som demonstreras i avsnitt 2.1.1. Avväxlingenbalken som är dimensionerad för att hantera vertikala laster skulle då istället behövt vara dimensionerad för att hantera de dragkrafter som uppstår uppkommer i väggen. Det verkar inte finnas någon avväxlingsmetod där en avväxlingsbalk nyttjas för att hantera den vertikala lasten och som samtidigt hanterar de dragkrafter som uppkommer i väggen. Som det framgår av avsnitt 5.1.2 och 5.1.3 förväntas väggen genom sin befintliga armering ovanför och intill håltagningen kunna hantera de dragkrafter som uppstår. Det kan vara anledningen till att projektörer idag inte ser detta som ett så stort bekymmer, som det egentligen är.

Som kraftspelet i avsnitt 2.1.2 visar så uppstår det tvärgående dragkrafter i väggen även om avväxlingsbalken bär hela lasten över öppningen som en vertikal last. Detta beror på att krafter som fördelas till väggen genom avväxlingen inte går rakt ner mot grundkonstruktionen. Upplagskrafterna sprider sig i väggen och förskjuter således kraftresultanten i sidled. Då betongen hanterar tryckkrafterna som uppstår så förväntas armeringen i väggen att ta hand om dragkrafterna. Om håltagningen görs i inre delen av en vägg så förväntas inte detta vara något problem när det gäller global jämvikt då väggskivan kan antas överbrygga håltagningen genom valverkan. Det är först vid tillfällen då håltagningen görs nära väggens kant där det kan förekomma oklarheter om väggens styvhet och stabilitet.

6.5 Nedböjning

Gränsvärdet för avväxlingsbalkar i väggkonstruktioner är $L/100$ och på längre avväxlingar kan nedböjningen bli relativt stor. Nedböjningen tillåts enligt gränsvärdet att öka 1 centimeter per meter avväxling. Detta betyder alltså att för en avväxling som är 6 meter lång tillåts att nedböjningen blir uppemot 6 centimeter. Om avväxlingsbalken skall kläs in med någon form av brandinklädnad eller annan beklädnad så förutsätts balken vara tillräckligt styv då omgivande material annars riskerar att gå sönder. Om balken får påtagliga deformationer kommer även materialet som klär in balken att börja röra på sig och kan då förstöras.

6.6 Återkoppling

För att det i framtiden skall gå bättre att arbeta med respektive avväxlingsmetod så krävs det en återkoppling mellan inblandade parterna efter projektets avslut. Vid denna återkoppling förs det fram vad som gått bra i projektet och vad som gått mindre bra. De som varit inblandade i projektet kan då dra lärdom av detta och på så vis undvika att göra samma misstag i framtida projekt. Ett återkopplingsmöte parterna emellan skulle resultera i en ökad förståelse om andras arbetsuppgifter och svårigheter.

7 Slutsats

I detta kapitel redovisas slutsatser som dragits under arbetets gång men även förslag på vidare studier.

7.1 Slutsatser

Vid val av avväxlingsmetod så bör beständighet, byggnadstekniskt brandskydd, bärförmåga, funktion och utseende beaktas. Beständigheten kan hanteras likvärdigt oavsett avväxlingsmetod. Nedan följer rekommendationer för val av avväxlingsmetod men även mer generella rekommendationer rörande samverkan parterna emellan.

- I situationer där det krävs att avväxlingsbalken och deras skyddsinklädnad inte sticker ut från väggen rekommenderas det att en avväxlingsbalk med I-profil används för att avväxla väggen. Detta eftersom att den är lättare att dölja jämfört med avväxlingskomponenterna i de andra avväxlingsmetoderna.
- I situationer där en yttervägg skall avväxlas för en fönster- eller dörröppning rekommenderas att ytterväggen avväxlas med en infräst L-profil med balklivet på insidan om väggen. L-profilen är i detta fall lättare att dölja i fönstrets karm/foder och påverkar således inte byggnadens fasad på samma sätt som om en I-profil eller en klämavväxling med en U-profil skulle användas.
- Finns det möjlighet att dölja avväxlingsbalken med ett innertak så är det att föredra. Då har avväxlingens utseende inte någon större inverkan på valet av avväxlingsmetod. Om innertaket har en brandskyddande förmåga samt att det inte finns brandfarligt material eller ledningar mellan innertaket och bjälklaget så kan inklädningsarbete undvikas.
- Förekommer det större laster över avväxlingar med längre spännvidder finns inte möjligheten att nyttja L-profiler då de inte är starka nog. Då rekommenderas att väggen avväxlas med I-profiler upplagda på stålpelare. Att nyttja stålpelare som upplag istället för befintlig vägg anses lämpligt då upplagstrycket sprids på ett mer fördelaktigt sätt i väggen under pelaren istället för vid sidan av håltagningen. Vidare förkortas avväxlingsbalkens spännvidd.
- Det rekommenderas att klämavväxlingar dimensioneras för både bruksgräns- och brottsgränstillstånd och att kraftöverföringen delvis sker genom anläggningstryck förutsätts i brottsgränstillstånd. Detta på grund av att direkt anläggning kan uppkomma då bultarnas förspänning och därmed friktionen kan avta med tiden.
- Då en avväxlingsbalk används finns det en risk att styvheten i avväxlingsbalken inte är tillräcklig jämfört med väggen ovanför håltagningens styvhet. Detta leder till att det uppkommer oförutsedda dragkrafter i väggen som kan vara skadliga för väggen. Även om avväxlingsbalkens styvhet är större än väggen ovanför håltagningens styvhet så uppkommer det dragkrafter som kan vara skadliga. Oberoende av styvhetsförhållandet så bör dragkrafter i väggen beaktas.

- För att utveckla arbetet med avvaxlingar krävs det en ökad förståelse för olika aktörers arbetsuppgifter och svårigheter. Detta skulle kunna uppnås genom återkoppling efter projektens avslut. Ökad förståelse för andras arbetsuppgifter skulle resultera i bättre lösningar. Återkopplingsmöten skulle även kunna bidra att det är ökad kunskap som styr val och utformning av avvaxlingsmetod i framtiden.

7.2 Förslag på vidare studier

Att använda sig av dragstag vid dimensionering av håltagningar fungerar bra i samband med nyproduktion. Det som kan vara intressant att studera vidare är om det är möjligt att fräsa in dragstag i en befintlig vägg och därefter fylla igen och förankra med höghållfast bruk.

Frågeställningen skulle då vara om vidhäftningen mellan betongen och det höghållfasta bruket kommer att vara tillräcklig för att överföra de dragkrafter som kommer att uppstå till dragstaget.

8 Referenser

Skriftliga källor:

- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., Johansson, P. (2013): *Bärande konstruktioner – Del 1*. Chalmers tekniska högskola, Göteborg
- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., Johansson, P. (2013): *Bärande konstruktioner – Del 2*. Chalmers tekniska högskola Göteborg
- Svenska Betongföreningen (2012): *Svenska Betongföreningens handbok till Eurokod 2, Volym 1*. Svenska Betongföreningen, Stockholm
- Boverket (2015): *EKS 10*. Boverket, Karlskrona
- Burström, P.-G. (2006): *Byggnadsmaterial, Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Studentlitteratur, Lund
- Tibnor AB (2011): *Konstruktionstabeller, rör-balk-stång*. Tibnor AB, Solna
- SIS (2007): *Färg och lack, Korrosionsskydd av stålstrukturer genom målning, Del 5: Rostskyddssystem (ISO 12944-5)*. SIS Förlag AB, Stockholm
- SIS (2010): *Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner – Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader*. SIS Förlag AB. Stockholm
- SIS (2010): *Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner – Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader*. SIS Förlag AB. Stockholm
- Stålbyggnadsinstitutet (2008): *Tillverkning, montering och kontroll av stålkonstruktioner, Handbok för tillämpning av SS-EN 1090-2*. Stålbyggnadsinstitutet, Stockholm

Muntliga källor:

- Andersson, J. (2016-04-28): Projekteringsledare på ByggPartner, entreprenadföretag, intervju.
- Beets, E. (2016-04-13): Konstruktör på VBK, konsultföretag, intervju.
- Carlsson, J. (2016-04-20): Regionchef på Sweco, konsultföretag, intervju.
- Carlsson, J. (2016-05-10): Regionchef på Sweco, konsultföretag, intervju.
- Fyhr, A. (2016-04-01): VD för Byggtjänst, entreprenadföretag, intervju.

Bilaga A - Dimensionerande momentkapacitet enligt Eurokod 3

$$M_{bRd} = \chi_{LT} \cdot W \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

χ_{LT} = en reduktionsfaktor med avseende på vippning

$\chi_{LT} = 1.0$ om det inte är någon risk för vippning

γ_{M1} = partialkoefficient med avseende på materialets hållfasthet

$\gamma_{M1} = 1.0$ för beräkning av momentkapacitet

f_y = stålets flytspänning

W = böjmotstånd

Böjmotståndet beror på tvärsnittklass på balken - värde på böjmotståndet fås ur tabell från exempelvis Tibnors konstruktions tabeller. Val av elastiskt eller platsiskt böjmotstånd väljs beroende av balkens tvärsnitt.

Balktvärsnitt

t_f = flänsjocklek

t_w = livtjocklek

h_w = livhöjd

b = flänsbredd

$h = h_w + 2 \cdot t_f$ (total höjd)

a = svetstjocklek

Kontrollera tvärsnittsklass

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}}$$

A) fläns

$$c = \frac{(b - t_w)}{2} - \sqrt{2} \cdot a$$

Tvärsnittsklass 1

Tvärsnittsklass 2

Tvärsnittsklass 3

$$9 \varepsilon \geq \frac{c}{t_f}$$

$$10 \varepsilon \geq \frac{c}{t_f}$$

$$14 \varepsilon \leq \frac{c}{t_f}$$

B) livplåt

$$d = h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a$$

Tvärsnittsklass 1

Tvärsnittsklass 2

Tvärsnittsklass 3

$$72 \varepsilon \geq \frac{d}{t_w}$$

$$83 \varepsilon \geq \frac{d}{t_w}$$

$$124 \varepsilon \geq \frac{d}{t_w}$$

Lägsta tvärsnittsklass för fläns respektive livplåt
blir dimensionerande för balken.

Bilaga B - Beräkning av balkens tvärkraftskapacitet enligt Eurokod 3

Om tvärsnittet inte riskerar skjuvbuckling:

$$V_{pl.Rd} = A_v \cdot \frac{(f_y \cdot \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

A_v = skjuvarean

För balkar med I-tvärsnitt

$$A_v = \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

η = faktor som beaktar bidraget av stålets töjningshårdnande

$\eta = 1.2$ för stålqualiteter upp till S460

$\eta = 1.0$ för stålqualiteter över S460

h_w & t_w betecknar livhöjd och livtjocklek

f_y = stålets flytspänning

Skjuvbuckling kan uppträda i balkar med slanka liv.

Eurokod 3 anger följande gräns under vilken skjuvbuckling ej inträffar.

För avstyvade livplåt:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

För liv med vertikala avstyvningar:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 31 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} \cdot \sqrt{\kappa_\tau}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

κ_τ = bucklingskoefficient med avseende på avstyvningar och beräknas approximativt i Eurokod 3

$\kappa_\tau = 5.34$ För balkar med avstyvningar med tvärgående avstyvningar endast över upplag (ändavstyvningar)

$\kappa_\tau = 4 + \frac{5.34}{\left(\frac{a}{d}\right)^2}$ För balkar med såväl ändavstyvningar som mellanliggande avstyvningar och där $a/d < 1$

$\kappa_\tau = 5.34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2}$ För balkar med såväl ändavstyvningar som mellanliggande avstyvningar och där $a/d > 1$

a & d är längden och hos ett avsyvat plåtfält i balklivet

Tvärkraftskapaciteten hos slanka liv där risken för skjuvbuckling beaktas

$$V_{bw,Rd} = \chi_w \cdot h_w \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1} \cdot \sqrt{3}}$$

Plåtens slankhet betraktas som:

$$\lambda_w = \frac{\frac{h_w}{t_w}}{37.4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\kappa_\tau}}$$

Skjuvbucklingskoefficienten, χ_w enligt Eurokod 3:

<u>Slankhetsgräns</u>	<u>Styva ändavstyvningar</u>	<u>Veka ändavstyvningar</u>
$\lambda_w < \frac{0.8}{\eta}$	η	η
$\frac{0.8}{\eta} \leq \lambda_w < 1.08$	$\frac{0.83}{\lambda_w}$	$\frac{0.83}{\lambda_w}$
$\lambda_w \geq 1.08$	$\frac{1.37}{0.7 + \lambda_w}$	$\frac{0.83}{\lambda_w}$

Bilaga C - Interaktion mellan moment och tvärkraft enligt Eurokod 3

Ogynnsam interaktion mellan moment och tvärkraft behöver inte beaktas:

• om momentet av yttre last kan bäras av enbart flänsarna, dvs $M_{Ed} \leq M_{bRd}$ där M_{bRd} är flänsarnas bidrag till tvärsnittets momentkapacitet

• och $V_{Ed} \leq V_{bWRd}$ V_{bWRd} återfinns i bilaga B

Eller:

• om tvärkraften av yttre last V_{Ed} inte överskrider 50% av balkens tvärsnittskapacitet V_{bWRd}

Annars bör tvärsnittets kapacitet med hänsyn till interaktion mellan moment och tvärkraftskapacitet verifieras enligt:

$$M_{Ed} \leq M_{bRd} + (M_{pIRd} - M_{bRd}) \cdot \left(1 - \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{bWRd}} - 1 \right)^2 \right)$$

Bilaga D - Friktionsförbands bärförmåga med hänsyn till glidning enligt Eurokod 3

$$F_{sRd} = \frac{(n \cdot \mu \cdot (F_{pCd} - 0.8 \cdot F_t))}{\gamma_{ms}}$$

n = antal friktionsytor

μ = friktionskoefficient. Friktionskoefficient mellan stål och betong: $0.6 \geq \mu \geq 0.2$

F_{pCd} = förspänningskraft. För att vara aktiv gäller dock $F_{pCd} \geq 0.7 \cdot f_{bu} \cdot A_s$

F_t = ev. dragkraft i förbandet

$\gamma_{ms} = 1.25$ i brottgränstillstånd och

$\gamma_{ms} = 1.1$ i bruksgränstillstånd

Bilaga E – Frågeställning till entreprenörer

Vilka för- och nackdelar har dessa tre avväxlingsmetoder?

- Klämavväxling med en u-profil från varje håll
- Infräsning av L-profiler
- Placering av balk under öppning

Finns det någon likhet mellan dessa avväxlingstyper som gör arbetet lite besvärligare/enklare eller är varje metod svår/enkel att hantera på sitt sätt? Beskriv för- och nackdelar med att använda sig av respektive metod. Gärna så utförligt som möjligt.

Vilken metod är den vanligaste ni ser användas på byggarbetsplatsen?

Vad är svårigheten med att använda befintlig vägg som pelare/stöd? Vid jämförelse metoderna emellan, vilken metod kräver den svåraste utsågningen och finns det några anvisningar om hur exakt sågningen måste utföras för att konstruktionen inte ska tappa sin bärformåga?

Om man pratar materialkostnad samt arbetskostnad för respektive avväxlingsmetod. Finns det något fall där en avväxlingsmetod är billigast både vad gäller materialkostnad och arbetskostnad? Om det skiljer sig, läggs slutsummorna för varje avväxlingsmetod ihop eller hur jämförs och bestäms de?

Finns det några otydligheter som ofta förekommer från projekteringsskedet som ni har synpunkter på som projektörer kan tänka på i framtiden? (Exempelvis arbetsgången/utförande beskrivning) Eller har ni andra mer allmänna synpunkter på hur projekteringen skulle kunna förenkla arbetet för er?

Finns det något mer jag bör tänka på som inte är med här?

Bilaga F - Frågeställning till projektörer

Vilken avväxlingsmetod uppfattar ni är den enklaste att räkna på om man jämför mellan klämavväxling med u-profiler från varje håll, infräsning av L-profiler eller den där man placerar balken under öppningen?

För och nackdelar med varje avväxlingsmetod i projekteringsskedet?

Vad är svårigheten med att utnyttja befintlig vägg som pelare/stöd åt balkarna?

Går det att uppskatta vilken metod som går snabbast att räkna på? Hänger det ihop med vilken metod som anses enklast?

Hur bestäms den avväxlingsmetod som ska användas? Tas materialkostnad samt arbetskostnad med i beräkningarna? Hur mycket kontakt har projektörer med arkitekt under projekteringen?

Fackverksanalogi bygger på att armeringsjärn tar dragkrafter och tryckkrafter, hur hanterar de olika metoderna de dragkrafter som uppstår?

Finns det någon fråga som ofta återkommer från entreprenörer gällande ritningar eller något annat där de tycker det är otydligt?

När konstruktioner börjar rivas kan det ibland uppstå oklarheter jämfört med den informationen som projektören fått. Tillsammans med ritningar så följer en utförandebeskrivning med där det står förklarat hur entreprenören ska utföra avväxlingen. Tas eventuella oklarheter som kan uppstå i med beräkningen när projektören skriver ner utförandebestrivningen?