

Optimering av industriväggar i prefabricerad betong

En modell för effektivare projektering,
tillverkning och montage



Hanna Nilsson

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet, 2012

Rapport TVBK - 5202

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
221 00 LUND

Department of Structural Engineering
Lund Institute of Technology
Box 118
S-221 00 LUND
Sweden

Optimering av industriväggar i prefabricerad betong

-En modell för effektivare projektering, tillverkning och montage

Optimization of precast concrete industrial walls

- A model for efficient planning, production and assembly

Hanna Nilsson

2012

Rapport TVBK-5202
ISSN 0349-4969
ISRN: LUTVDG/TVBK-12/5202+95p

Examensarbete
Handledare: Fredrik Carlsson
Januari 2012

Förord

Detta examensarbete är den avslutande delen på utbildningen till civilingenjörer inom Väg- och Vattenbyggnadsprogrammet på Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet har utförts under 2010/2011 i samarbete med Abetong, med handledare från både LTH, och Abetong.

Jag vill rikta ett stort tack till mina handledare Göran Östergaard och Fredrik Carlsson men även alla andra på Abetong och LTH som har bidragit till stor hjälp i många frågor.
Lund den 15 mars 2011

Hanna Nilsson

Sammanfattning

- Titel:** Optimering av industriväggar i prefabricerad betong
– En modell för effektivare projektering, produktion och montage.
- Författare:** Hanna Nilsson
- Handledare:** Fredrik Carlsson, Lunds Tekniska Högskola, Avdelningen för konstruktionsteknik.
- Bitr. handledare:** Göran Östergaard, Abetong
- Examinator:** Annika Mårtensson, Lunds Tekniska Högskola, Avdelningen för konstruktionsteknik.
- Syfte:** Syftet med denna studie är att hitta en optimal lösning på prefabricerade industriväggar inom Abetong genom att beakta följande aspekter: lätthet att tillverka, montera och till minsta möjliga pris.
- Metod:** Arbetet med studien infattar en litteraturstudie, konstruktionsberäkningar enligt BKR 03 och BBK 04, CAD-ritningar, en fältstudie där liknande objekt studeras samt en resultatdel där en sammanställning av de olika delkomponenterna är presenterade.
- Slutsats:** I denna studie har en mall för dimensionering och projektering av industriväggar åt Abetong tagits fram. Detta främst för att ge konstruktionsavdelningen ett underlag för snabbare och mer effektiv projektering samt ge fördelar i produktion och vid montage.
Det har även lagts stor vikt vid att ha enhetliga lösningar på de olika komponenterna för att standardisera industriväggen och på så vis minska kostnaderna och effektivisera vid produktion i fabrik och montage ute på byggarbetsplatsen.
För att minska kostnaderna för att producera väggelementen har materialåtgången minskats så mycket som möjligt både för betong och armering.
- Nyckelord:** Industriväggar, Sandwichväggar, Prefab

Abstract

- Title:** Optimization of precast concrete industrial walls
- A model for efficient planning, production and assembly
- Authors:** Hanna Nilsson
- Supervisor:** Fredrik Carlsson, Lund University, The Division of Structural Engineering
- Ass. Supervisors:** Göran Östergaard, Abetong
- Examiner:** Annika Mårtensson, Lund University, The Division of Structural Engineering
- Purpose:** The purpose of this study is to find an optimal solution to the precast industry in the walls for the company Abetong by considering the following aspects: ease of manufacture, assemble, and to the lowest possible price.
- Method:** The study mounted a literature review, design calculations according to BKR 03 and BBK 04, CAD drawings, a field study in which similar objects are studied and a result in which a summary of the various sub-components are presented.
- Conclusion:** In this study, it has developed a template for sizing and design of industrial walls to Abetong. This is to give the design department as a basis for faster and more efficient planning and to provide advantages in production and during assembly.
It has also been important to have uniform solutions to the various components to standardize industrial wall. Standardization reduces costs and streamlines the production of the factory and when mounted on the building site.
To reduce the cost of producing wall elements have material consumption reduced as much as possible for both concrete and reinforcement.
- Keywords:** Industrial Walls, Sandwich Walls, Prefab

Förord	5
Sammanfattning	7
Abstract	8
Inledning	11
Bakgrund.....	11
Syfte.....	11
Mål	11
Avgränsningar	12
Metod och metodbeskrivning	12
Datainsamling	12
Programvaror	12
Tidplan.....	13
2 Litteraturstudie	15
Industriellt byggande	15
Prefabricering	15
Introduktion – sandwichväggar.....	16
Utformning.....	17
2.1.1 Fasadskivan.....	17
2.1.2 Innerskivan.....	19
2.1.3 Isolering	19
2.1.4 Armering.....	19
2.1.5 Förbindelsesystem	19
2.1.6 Stegar	19
2.1.7 Bärarkare	20
2.1.8 Förbindelsebyglar	21
Fogar.....	22
Tillverkning	23
Infästningar och lyft	24
Hantering	25
2.1.9 Transport.....	25
2.1.10 Montage.....	25
2.1.11 Lagring.....	26
Utböjning	26
2.1.12 Tidsmässig olikformad krympning.....	27
2.1.13 Strukturellt betingad olikformad krympning (separation).....	27
Negativmetoden.....	28
Positivmetoden	28
Sprickor	29
Toleranser	30
Rörelser.....	30
2.1.14 Rörelser i fogarna	30
2.1.15 Rörelser i förbindelsejärnen	31
3 Inventering	33
Tidigare industrivägg	33

Fältundersökning	34
3.1.1 Metod för fältundersökning	34
3.1.2 Resultat av fältundersökning	34
3.1.3 Felkällor och slutsats av fältundersökningen	35
4 Metod för optimering av industriväggar	37
Beräkningsmodell	37
Dimensioneringsprincip	37
Beräkningsförutsättningar	38
Dimensioneringsförutsättningar	39
4.1.4 Laster	39
4.1.5 Lastkombinationer	43
4.1.6 Säkerhetsklasser	43
4.1.7 Livslängdsklass	43
4.1.8 Dimensionerande materialvärden betong	44
5 Resultat	45
Elementhöjder	47
Nätarmering innerskiva	49
Dimensionering av nät i brottgränstillstånd (horisontellt centrumavstånd)	51
Deformation av vind (bruksgränstillstånd)	53
Kvarstående deformation av temperatur, krypning, och tillverkning	55
Steg, lyft, pallning och nålplacering vid olika elementlängder	57
Pallning	58
Dubb och ursparing	61
Lyft	63
Pelaranslutning	67
6 Slutsats	71
7 Litteraturförteckning	73
8 Bilagor	75
Bilaga A - Elementhöjder	77
Bilaga B - Nätarmering innerskiva	81
Bilaga C - Kvarstående deformation av temperatur, krypning, och tillverkning	83
Bilaga D - Steg och nålplacering vid olika elementlängder	85
Bilaga E – Pallning	89
Bilaga F – Pelaranslutning	91

Inledning

Bakgrund

I byggbranschen strävar man hela tiden efter att bygga resurssnålt. En stor del av byggprocessen har visat sig kosta onödigt mycket pengar. För att minska kostnaderna industrialiserar man byggandet. Detta har lett till att standardiserade byggsystem har tagits fram, (Betongvaruindustrin 2009). Genom att prefabricera byggelement har produktionen flyttats från byggarbetsplatsen till industrin, (Betongvaruindustrin 2009). Detta innebär att byggtiden kan kortas samtidigt som problem med bland annat fukt minskar betydligt, (Heidelberg Cement 2010)

Abetong som ingår i koncernen Heidelberg Cement har fokuserat på prefabricerade betongprodukter inom hus, lantbruk och anläggning. En stor del av Abetongs produktion går till industribyggnader. Ofta levereras dessa med en helhetslösning i form av pelarbalkstomme med ytterväggar i form av sandwichväggar. Industriväggarna tillverkas idag på ett antal olika sätt, mycket beroende på vilket konstruktionskontor som har dimensionerat och ritat väggarna (Heidelberg Cement 2010). För att gå mot ett mer industriellt tankesätt måste allt från projekteringsfasen till produktionen standardiseras och systematiseras. Detta innebär att man slipper börja från början varje gång man ska sälja och leverera sandwichväggar till industribyggnader och kan på så vis både tjäna tid, kvalité och minska på kostnaderna, (Modig, 2004).

Syfte

Syftet med denna studie är att hitta en optimal lösning på prefabricerade industriväggar inom Abetong. I företaget tillverkas idag ett antal olika typer av industriväggar. De olika konstruktionsavdelningarna har tagit fram "sina" lösningar och därmed minskar samhörigheten i företaget.

Syftet är att hitta det väggelement som är lättast att tillverka, montera och till minsta möjliga pris. En standardiserad produkt som kan underlätta arbetet vid projektering samt produktion och på så vis tjäna tid och minska kostnaderna.

Mål

Målet med studien är att hitta en optimal lösning på industriväggar åt Abetong och sammanställa ett dokument som är till nytta vid främst projekteringen. Detta innebär att de mest fördelaktiga lösningarna på elementtjocklekar, storlekar på element, förbindelsesystem och infästningar ska tas fram. Elementen ska även vara praktiska att tillverka i fabrik och vid montage.

Avgränsningar

För att denna studie ska få plats inom tidsramen krävs vissa avgränsningar. Dessa har utformats genom samarbete mellan handledare från Abetong och LTH. För att tydliggöra studiens fokus finns följande avgränsningar.

- Elementen har beräknats utan håltagning, t.ex. fönster och dörrar.
- I studien bortses från materialvalet för fogarna , utformning av fogar samt övriga fogberäkningar.
- Endast Abetongs industriväggar kommer att studeras i undersökningen.
- Beräkningar genomförs endast på 3 olika längder på väggelementen.
- Beräkningar genomförs endast med terrängtyp 1 och 2.
- Beräkningar är endast utförda med referensvindhastigheter på 24, 25 och 26 m/s.
- Val av förankringar och ingjutningsgods (k-gods) sker efter upphandlade avtal.
- Ingen dimensionering görs för monteringskedet, varken tidplan eller kostnad av elementmontage beaktas.

Metod och metodbeskrivning

Arbetet med studien infattar en litteraturstudie, konstruktionsberäkningar enligt BKR 03 och BBK 04, CAD-ritningar, en fältstudie där liknande objekt studeras samt en resultatdel där en sammanställning av de olika delkomponenterna är presenterade.

Datainsamling

För att få kunskap om industriväggar har en datainsamling gjorts som en litteraturstudie. Data är hämtade från Lunds universitetsbibliotek, från Abetongs material, anställda på Abetong, rapporter och artiklar från internet, samt andra kompendier och avhandlingar.

Programvaror

Tabeller och enklare beräkningar utförs i kalkylprogrammet Excel.

För att ta fram ritningar och skisser används AutoCad 2007.

Vid beräkningar för dimensionering används Ramanalys 6.0, Win Plate 5.3 samt Excel-program som tillhör Abetong.

Tidplan

Till denna studie är det avsatt 20 veckors arbete vilket motsvarar 30 hp. För att lättare planera arbetet är en översiktlig tidplan gjord där de olika aktiviteterna planeras in.

1 Litteraturstudie

Industriellt byggande

Det finns en mycket stor potential att bygga mer resurssnålt. Det har gjorts studier som visar att upp till en tredjedel av resursförbrukningen i byggprocessen är slöseri, (Betongvaruindustrin 2009). Industriellt byggande, tillsammans med effektiva inköp och ökat samarbete, bidrar till minskade kostnader genom hela byggprocessen. Industriellt byggande är en effektiv och kostnadsmedveten byggprocess som hela tiden går att förbättra, (Peab 2010).

Det industriella byggande är ett systemtänkande. Utan en effektiv arbetsplats kommer en industrialiserad komponentproduktion inte heller till sin rätt. Det är viktigt att hela kedjan samarbetar genom bland annat en kvalificerad och effektiv inköpsfunktion samt en effektiv logistik (Peab 2010).

I ett industriellt tankesätt ingår det naturligt att förtillverka allt som lämpar sig att förtillverka, men utesluter inte på något sätt att även planerings- och projekteringsfasen, liksom produktionen på byggarbetsplatserna systematiseras och processtyrts. Genom ett industriellt arbetssätt kan engångsprojekteringen i varje enskilt projekt där man varje gång startar från noll bytas mot en kontinuerlig produktutveckling för att höja kvalitén och minska tiderna på de olika momenten genom byggprocessen samtidigt som kostnaderna sänks. Tittar man på bilindustrin så tar det många år att ta fram en ny modell och man tar fram flera prototyper innan man slutligen definierar, projekterar, upphandlar och produktionssätter den nya modellen. I byggsektorn byggs istället nästan bara "prototyper" i varje nytt byggprojekt påbörjas, (Modig, 2004).

Prefabricering

Prefabricering betyder industriellt förtillverkade produkter, (Fröjdfeldt & Leijon, 2008). Att prefabricera betyder att flytta produktionen från en provisoriskt etablerad byggplats till fast industri, (Betongvaruindustrin 2009) Detta betyder att betongelementen gjuts inomhus i fabrik där man använder återanvändbara formar. Betongen får därmed härda i en kontrollerad miljö innan den transporteras till byggarbetsplatsen där den monteras i större enheter, (Marklund & Nilsson, 2008).

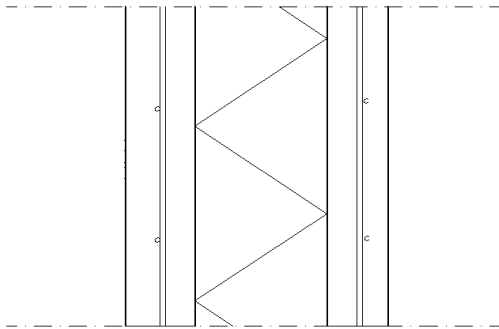
En förtillverkad konstruktion innebär att man blir oberoende av väder med fördelen att man fortare får ett "tätt hus" och arbetet med mellanväggar och installationer kan ske i en skyddad miljö. Risken för byggfukt minskar också betydligt då elementen tillverkas inomhus och betongen härdar innan montage. Det innebär också att flera moment är flyttade till fabriken som gör att förutsättningarna för en bättre arbetsmiljö på arbetsplatsen förbättras och kan leda till färre olyckor och arbetsskador samt ett friskare hus. Prefabricering av konstruktionsdelar skapar bra flöden på byggarbetsplatsen så att olika yrkesgrupper kan arbeta ostört, (Betongvaruindustrin 2009). För att få systemen effektiva strävar man efter en standardisering av produkterna eftersom byggnadskomponenterna serietillverkas, (Fröjdfeldt & Leijon, 2008).

Att gjuta utomhus vintertid ställer också krav på uppvärmning under betongens härdningstid, något som inte behövs då elementen produceras inomhus i fabrik. Vid platsbyggda konstruktioner kan detta leda till stora förseningar av bygget vid minusgrader och snö, (Strängbetong 2010).

Genom att bygga med prefabricerade element reduceras även omkostnaderna för byggplatsen. Det behövs mindre av allt från bodar, ställningar, vakthållning, provisorisk el, vatten och annan utrustning, (Strängbetong 2010).

Introduktion – sandwichväggar

Ett sandwichelement består av två betongskikt med ett mellanlager av isolering. Sandwichelementen används främst som väggar och fasader. Betongskivorna binds samman med ingjutna förbindelsesystem i form av stegar, fasadankare eller liknande. Isoleringen mellan skivorna består av cellplast eller mineralull, (Betongelementhandboken, 1996). Sandwichelementen kan monteras både våningshöga, som bröstningselement, socklar eller i stora dimensioner för industriväggar, (Betongvaruindustrin 2009).



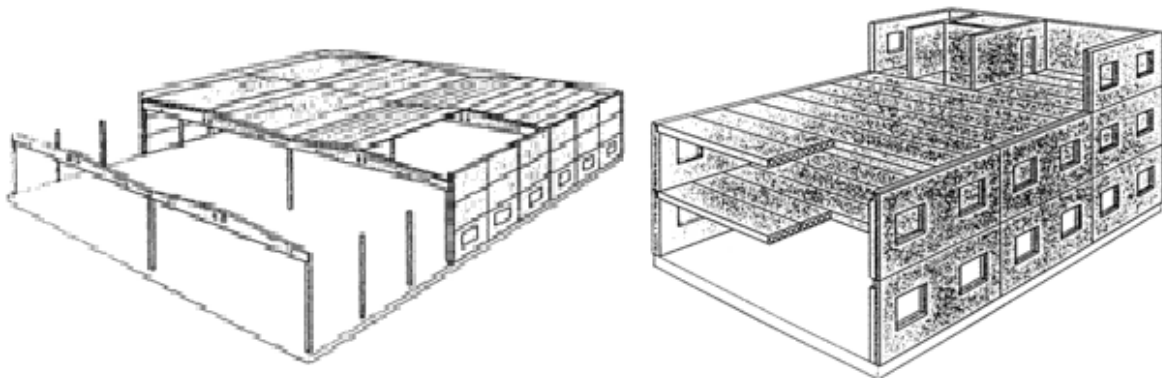
Figur 1 – Sandwichvägg med innerskiva och ytterskiva av betong med ett mellanliggande lager av isolering.

Vid tillverkning förses elementen med fönsteröppningar, dörrhål och vid behov även med ingjutningar för installationer. I vissa fall kan även fönstermontaget ske på fabrik och byggnadens klimatskydd blir därför komplett direkt vid montage av väggelementen, (Betongvaruindustrin 2009)

Insidan av ett sandwichelement gjuts så slät att det bara behöver ytbehandlas med minimal underbehandling och utsidan kan utföras med ett stort antal ytbehandlingar, färger och strukturer. (Betongvaruindustrin 2009).

Utformning

Sandwichelementen kan delas upp i två huvudtyper, med stående eller liggande bäring. Stående element bär ofta bjälklag eller takkonstruktioner och förekommer oftast i flerbostadshus. Liggande element bär som enkelspända plattor mellan pelare eller mellan ingjutna balkar i horisontalled i ovan och underkant. Balkarna för ut krafterna som tas upp i pelarna. Sandwichelementen med liggande bäring används vanligen i industri och lagerbyggnader., (Betongelementhandboken, 1996).



Figur 2 - Liggande element på pelarbalkstomme samt bärande fasadelement, (Betongvaruindustrin 2009).

Normalt görs ett av skikten bärande medan det andra skiktet har ett tätande funktion mot yttre påverkan och skyddar isoleringen. Det kan också räknas med samverkan mellan de olika skikten i en sandwichvägg där betongskikten blir tryck- och dragzoner, (Betongelementhandboken, 1996).

1.1.1 Fasadskivan

Det vanligaste sättet att tillverka ett sandwichelement är att göra en tätande ytterskiva som hänger på den bärande innerskivan med hjälp av stegar eller fasadankare, (Betongelementhandboken, 1996).

Väggelementen levereras med en färdig fabriksbearbetad struktur, som är maximalt underhållsfri. Utformningen av ytstrukturen utförs oftast i samband med gjutningen av den yttre betongskivan. Det ger ett stort urval i utseende och karaktär och en säker, hållbar yta, (Finja 2010). Olika ytor kan kombineras med varandra inom samma element. I stort sett går de flesta kombinationer att utföra, men kan bli komplicerade att tillverka och därför bli dyra, (Betongvaruindustrin 2009).



Figur 3 - Betong med frilagd yta

Några vanligt förekommande ytor är

- Frilagt stenmaterial
- Gjutet mot glatt formbotten
- Gjutet mot matriser av gummi, plast eller liknande
- Ströppelrollad
- Övriga

Det finns även möjlighet att färga elementet vid gjutning. Antingen färgas bara ytan eller så färgas hela skivan genomgående, (Betongelementhandboken, 1996).



Figur 4 - Målad betongyta, gjutet mot matris, vägg med ingjutet tegel (strängbetong.se)

1.1.2 Innerskivan

Normalt görs den inre skivan som bärande skiva för industriväggen. Innerskivan sitter infäst i den övriga konstruktionen och bär sedan upp den yttre beklädnadsskivan med hjälp av förbindelsejärnen. För att klara att bärningen görs innerskivan oftast tjockare än ytterskivan, (Abetong AB, 2010).

1.1.3 Isolering

De typer av isolering som används i sandwichelementen idag är cellplast och mineralull. Vid användning av mineralullsplattor är oftast tjockleken på isoleringen <120mm på grund av att den blir för mjuk vid större tjocklek. När elementet lagras utomhus och under montage måste isoleringen skyddas mot vatten och snö som kan tränga in i konstruktionen. Cellplasten är enklare vid hantering och har bättre fuktegenskaper. Vid samverkan mellan betongskivorna reduceras också skjuvkrafterna mellan skivorna om cellplast används. Vill man minska detta ytterligare används två lager av cellplast eller med en kombination av mineralull, (Betongelementhandboken, 1996).

1.1.4 Armering

I sandwichelementen används nätarmering. Vanligen placeras ett eller två nät i varje skiva beroende på storlekar på elementet, samt hur stora laster elementet dimensioneras efter. För att förstärka elementet placeras ofta extra armering runt lyft och infästningar för att förebygga sprickbildning, (Abetong AB, 2010).

1.1.5 Förbindelsesystem

Förbindelsesystemet mellan de olika skivorna ska föra över alla laster från ytterskivan inkl. egenvikten till innerskivan. De två vanligaste typerna av förbindelsesystem är

- Stegar som överför både horisontallaster (tryck och drag) och vertikallaster (skjuv) mellan skivorna.
- Bärankare som överför vertikallaster (skjuvkrafter) med byglar som överför horisontallaster (tryck och drag) mellan skivorna, (Betongelementhandboken, 1996).

1.1.6 Stegar

En förbindelsestege binder samman två betongskivor i ett sandwichelement. Vid val av stegar tar man hänsyn till funktionsprincipen med samverkan mellan de olika skivorna. Element som utnyttjar samverkan mellan ytter- och innerskiva ökar elementets bärförmåga. Som alternativ utformas elementen så endast innerskivan är bärande och ytterskivan hängs upp, (Peikko group).

Stegarna görs av dragen tråd med en diameter på 5 mm, där varje element består av tre delar enligt Figur 5, en sicksackformad stång mellan två raka stänger, (Holmberg, 1957).



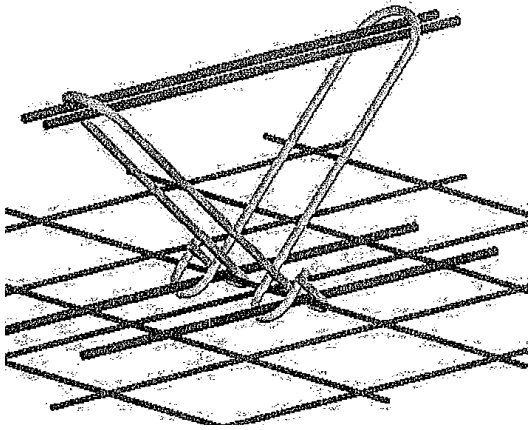
Figur 5 – Innerskivan bär upp ytterskivan med förbindelsestegar (Peikko group 2010)

Vid ingjutningen placeras förbindelsestegarna så att täckskiktet blir minst 20 mm vilket erfarenhetsmässigt räcker för att de ska sitta ordenligt i betongskivorna, (Östergaard, 2010). Om det finns utrymme för större täckskikt än 20 mm ska stegen placeras så långt in på den varma sidan av väggen som minsta täckskikt tillåter och ger ett större täckskikt på ytterskivan. Detta för att stegarna som får störst ingjutningslängd i varm betong, blir huvudsakligen varma, varigenom risken för invändiga kalla fläckar reduceras. Samtidigt får man ett större täckskikt på utsidan som fungerar som ett klimatskydd och korrosionsrisken minskas. (Holmberg, 1961).

1.1.7 Bärankare

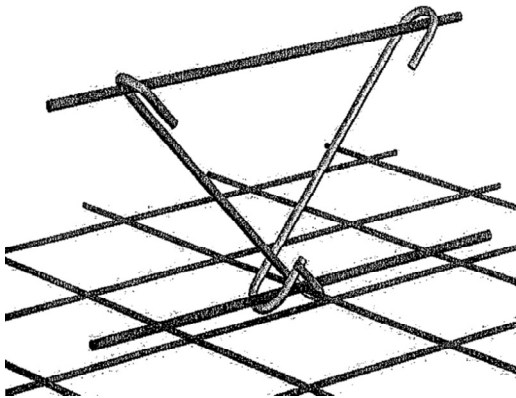
Bärankarens huvudsakliga uppgift är att bära upp ytterskivans tyngd. Den ska även ta upp dynamiska tillskott som uppstår vid transport samt det moment som uppstår vid excentrisk placering av bärankarna i förhållande till skivans tyngdpunkt. Det finns två olika typer av bärankare, dubbelankare och enkelankare.

Dubbelankarna placeras i vertikalled för att överföra ytterskivans egenvikt till den inre bärande skivan.



Figur 6 - Bärankare, dubbelankare som vanligen placeras vertikalt i elementet för att bära upp ytterskivan, (Neofac 2010).

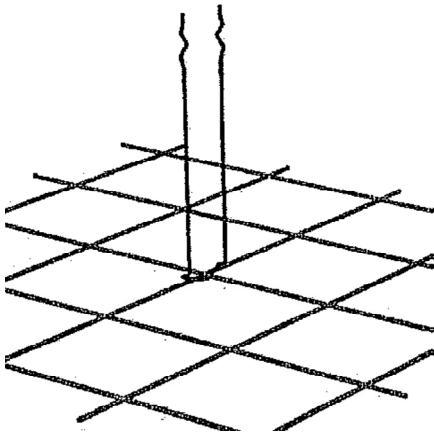
Enkelankaret placeras oftast horisontellt i elementets mittpunkt för att förhindra längdutvidgning på grund av temperaturförändringar och krympning. De används även för att förhindra rotation som uppstår mellan ytter- och innerskiva (Neofac 2010).



Figur 7 - Bärankare, enkelt ankare som vanligen placeras horisontellt i elementets mittpunkt, (Neofac 2010).

1.1.8 Förbindelsebyglar

Förbindelsebyglarnas uppgift är att hålla ihop ytter- och innerskivan för att förhindra att skivorna "gapar" i fårhållande till varandra. Byglarna dimensioneras för att ta upp de tryck- och sugkrafter som kommer ifrån vindlasten samt de krafter som uppstår vid avformning av elementet. Innan isoleringen läggs på sätts byglarna fast i det undre nätet, därefter trycks isoleringen på, detta för att säkerställa att nålen sitter i betongen innan den börjar bränna,(Neofac 2010).



Figur 8 - Förbindelsebygel (Neofac 2010).

Fogar

När man projekterar fasader byggda av prefabricerade betongelement måste man ta hänsyn till placeringen av fogarna. Dessa måste placeras på ett naturligt och estetiskt vis och bör diskuteras i samverkan mellan arkitekt och elementtillverkare för att få bästa möjliga lösning. När man utformar fogarna bör man ta hänsyn till följande faktorer:

- Regntätning
- Anpassning till toleranser och måttfel
- Vindtätning
- Anpassning till deformationer
- Värmeisolering
- Monterbarhet
- Skydd mot kondens
- Beständighet
- Ljudisolering
- Utseende
- Brandskydd
- Underhåll och renovering
- Lastupptagning
- Ekonomi

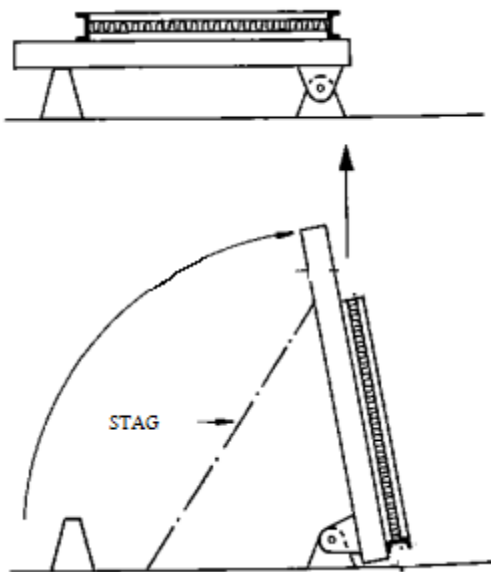
Viktigast är att välja ett lämpligt fogmaterial och att använda sig av rätt fogbredd för att fogtätningen ska fungera ordentligt. När fogen dimensioneras tas framförallt hänsyn till rörelser i fogen och toleranser mellan elementen. Rörelser mellan elementen orsakas framförallt av temperatur och fuktrörelser, (Betongvaruindustrin 2009).

Tillverkning

Tillverkning av betongfasader sker oftast med gjutning i liggande form. Vid stora serier av liknande element använder man formar av stål. Vid mindre serier använder man ofta trä eller spånskivor som ramar till elementen. Dessa är speciellt bra om det är flera olika storlekar på elementen, (Betongvaruindustrin 2009).

Olika ytstrukturer påverkar också gjutningsprocessen och formens uppbyggnad. Element med en yta av frilagd ballast, eller med matrisgjutning gjuts nedåt i form medan en handarbetad yta exempelvis rollad måste vara uppåt i form. Vid matrisgjutning är det svårt att ändra formen om den ska förstöras. Eventuellt måste hela formbotten göras om vilket tar tid och kostar mycket pengar. Att minska en form är lättare eftersom det ofta bara innebär att man lägger i en ursparing. Därför innebär det ofta inget problem med enstaka mindre element men kan däremot göra det vid enstaka större element. (Betongelementhandboken, 1996)

Ett stort antal element av samma storlek sänker styckekostnaden för elementen. Det betyder alltså att man ska minska på antalet littera (elementtyper) . Det är bättre att utföra variationer på elementen istället för att variera elementstorlekarna. Man bör redan vid projekteringen se till att få så stora element som möjligt eftersom det minskar både montagetid samt infästnings- och fogkostnader. Det gäller att hitta en kombination där arkitektens önskemål beaktas och att så många element av samma littera som möjligt kan användas för att få god ekonomi, (Betongvaruindustrin 2009).



Figur 9 - Gjutbord för tillverkning av betongväggar, (Betongelementhandboken, 1996)

På fabrikerna är det formbordens kapacitet och formarnas storlekar som styr måtten på elementen. Men man måste även ta hänsyn till krankapacitet och lyfthöjd. De flesta fabriker klarar att tillverka längder på 7,2 meter med höjder som understiger 4 meter. När man bestämmer höjden på elementen måste man ta hänsyn till vilka fordon som ska transportera väggarna till byggarbetsplatsen samt fri höjd på vägportar och liknande, (Betongvaruindustrin 2009).

Infästningar och lyft

Vid val av lyftanordning till betongväggarna finns det flera olika sorter att välja mellan på marknaden. I huvudsak skiljer man mellan lyftanordningar som placeras endast i den bärande innerskivan eller anordningar som har förankring i båda skivorna. Vid dimensioneringen är det viktigt att ta hänsyn till elementvikten för att inte kapaciteten i lyften ska överstigas, eftersom det kan leda till mycket allvarliga olyckor.

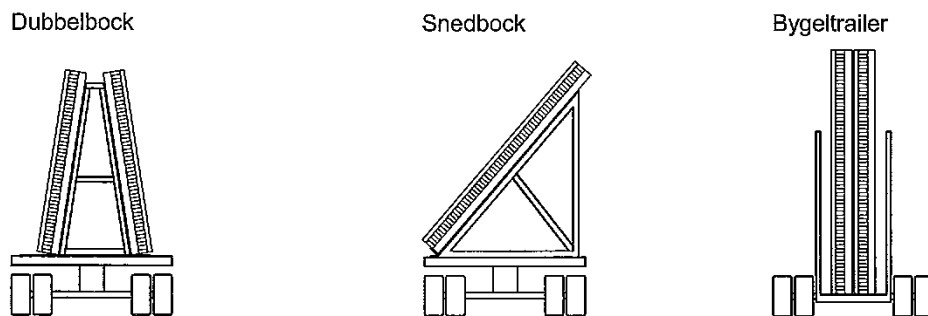
Infästningarna till stommen väljs utifrån de förutsättningar som gäller exempelvis material på pelare och övriga stomme. Betongelementen svetsas fast till stommen eller genom att använda olika metoder med skruvfästen och klämbrickor.

Hantering

1.1.9 Transport

Lastning och transport är ofta de moment som är dimensionerande för sandwichelementet, (Betongelementhandboken, 1996). Som nämnts tidigare måste man ta hänsyn till vilka fordon som finns att tillgå samt fri höjd på vägportar och liknande. Element som transporteras stående på en normal trailer bör ej överstiga 3 meter för att kunna passera viadukter och ledningar, (Betongvaruindustrin 2009).

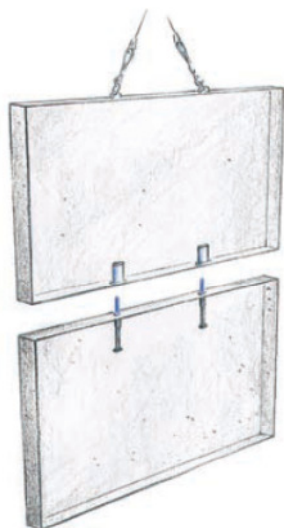
För att transportera sandwichelement finns flera olika alternativ som huvudsakligen består av liggande eller det mest förekommande alternativet med stående transport. De stående transporterna körs vanligen med dubbelblock eller snedblock på trailers men vid element högre än 3,5 meter finns även specialtransporter i form av låglastade bygeltrailers där elementen står vertikalt på bilen, (Abetong AB, 2010).



Figur 10 - Stående transporter med dubbelblock, snedblock, eller bygeltrailer (Abetong AB, 2010).

1.1.10 Montage

Montaget av väggelementen utförs ofta med hjälp av mobilkran. Vid lättare element kan även en kranförsedd lastbil användas. Industriväggarna monteras efter att den bärande stommen är på plats då väggarna direkt kan fästas in mot pelarna. Mellan väggarna läggs pallningsbrickor ut i form av plast, minerit eller stålbrickor på vilka elementen placeras, (Nordsjö Betong AB 2009). Elementen förankras mellan de bärande innerskivorna med dubb, (Finja 2010).



Figur 11 - Väggar monteras med dubb mellan elementen (Halfen 2010).

Om elementen är stående dvs. lagrat på kant kan väggen resas direkt på plats på bygget och monteras direkt från trailern. Transporteras det på liggande transport eller måste vändas ute på byggarbetsplatsen krävs speciella lyftmetoder. Det är viktigt att ta hänsyn till hur elementet är utformat i dimensioneringsfasen. Placering av lyft och armering förutsätter en viss hanteringsmetod (Betongelementhandboken, 1996).

1.1.11 Lagring

Eftersom deformationer på grund av krypning uppstår när betongen är färsk är det viktigt att lagringen av elementen beaktas särskilt. Den generella regeln är att lagra elementet med fasta stöttor och med utmäta understöd för att deformationerna blir så små att de inte har någon praktisk betydelse. Men måste även ta hänsyn till att inte elementen skadas i kanter och under stöden vid lagring (Abetong AB, 2010).

Utböjning

Hos stora sandwichelement förekommer ofta en viss utbuktning. Dessa blir ibland så stora att de stör estetiskt och måste därför beaktas vid tillverkning av fasadelement. Buktningsrörelsen kan även medföra sprickor i fasaden som kan leda till smutsfläckar. Sprickorna innebär dock ingen säkerhetsrisk eftersom de är så små, (Haeussler 1980).

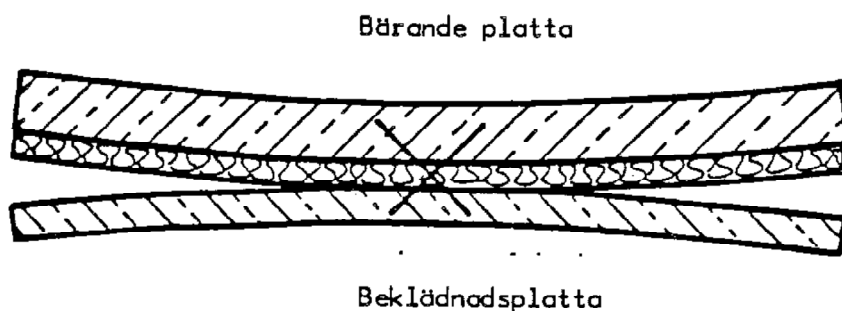
Rörelserna i skivorna kan också ge problem med fogarna mellan elementen. Som nämnts tidigare är det viktigt att fogarna är utformade för att kunna ta upp elementets rörelser. När man pratar om buktning i sandwichelement finns det många orsaker till uppkomsten av problem men den främsta orsaken beror på temperaturvariationer i elementet (Haeussler 1980).

Dygnsvarierande rörelser och påkänningar i sandwichelement domineras av temperaturvariationer över dygnet (Beijer, Rörelser hos fasadelement, 1977). De största

rörelserna över dygnet sker när solinstrålningen är som starkast, dvs. på sommaren och våren. Tvångsrörelserna förorsakas av skillnad i temperatur mellan inner- och ytterskiva och temperaturgradient i ytterskivan. Temperaturskillnaden mellan skivorna ger främst upphov till rörelser i skivornas plan. Beroende på samverkansgraden kan dessa rörelser bidra till att hela väggelementet kröks (Olofsson, 1983).

1.1.12 Tidsmässig olikformad krympning

Efter att betongen i sandwichelementet har bränt börjar krympningen. Orsaken är att betongen torkar ut ojämnt, utifrån och in. På grund av kärnan av isolering i sandwichelementet torkar utsidan av betongskivan fortare än insidan. Detta blir speciellt påtagligt då elementet utsätts för vind och solstrålning. Effekterna av denna krympning gör att inner- och ytterskiva buktar från varandra i kanterna på elementet, (Haeussler 1980).



Figur 12 - Olikformad krympning av betongskivorna (Haeussler 1980).

1.1.13 Strukturellt betingad olikformad krympning (separation).

När betongen vibreras sjunker de tyngsta partiklarna ner mot formbotten. Detta medför att ett fastare skikt bildas nedåt medan den lösare massan hamnar överst vilket gör att skivans övre del får en lägre hållfasthet (Haeussler 1980).

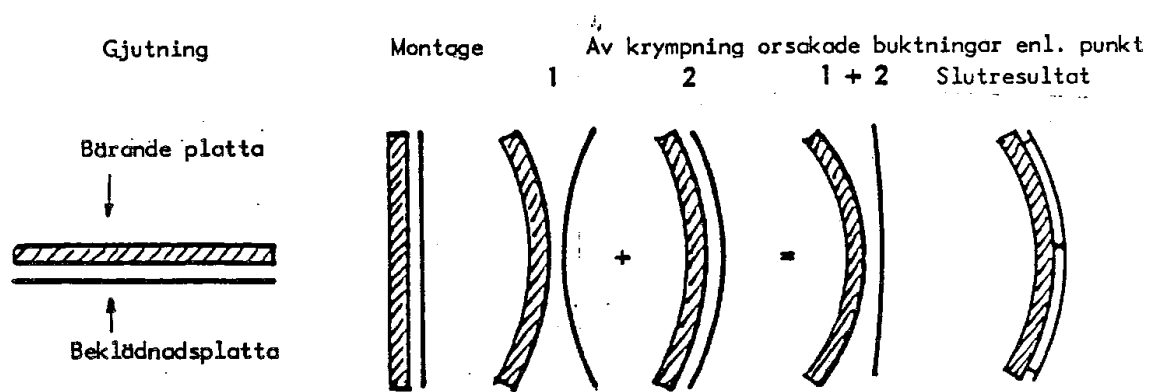


Figur 13 - Genom separation uppstår buktning av betongskivorna (Haeussler 1980).

Erfarenhet har visat att buktningar och sprickbildningar i sandwichelementet är beroende av vilken av skivorna som är gjuten ner mot formbordet. Man skiljer på element gjutna enligt positiv- och negativmetoden (Haeussler 1980)

Negativmetoden

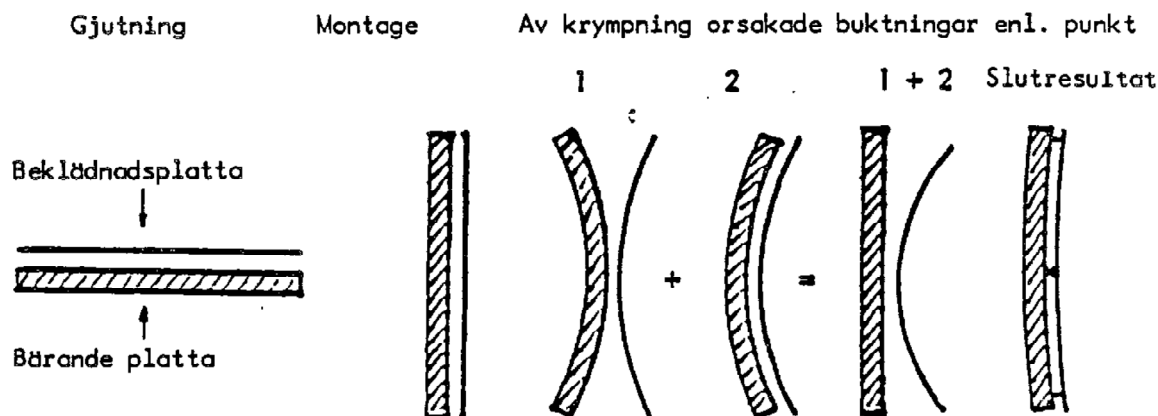
Vid sandwichelement som är tillverkade enligt negativmetoden gjuts beklädnadsskivan ner i form. Denna metod ger ofta en relativt stor utböjning av elementet. Orsakerna beror på att faktorerna från buktning vid uttorkning och separation adderas till varandra. Eftersom sandwichelementets utvändiga delar kommer torka fortare än dess inre delar kommer den bärande plattan och beklädnadsplattan att bukta ut från varandra i ytterkanterna, plattorna gapar. Samtidigt kommer en separation ske i skivorna, där de tyngre partiklarna sjunker ner mot formen och plattan böjer sig uppåt eftersom den övre delen med finare partiklar får större krympning. Slutresultatet blir att böjningen i den bärande plattan förstärks samtidigt som beklädnadsplattan planas ut. Däremot tvingar den kraftigare innerskivan den tunnare ytterskivan att böjas med och utsidan tenderar att spricka, (Haeussler 1980).



Figur 14 - Slutresultatet av buktningen för ett betongelement enligt negativmetoden (Haeussler 1980).

Positivmetoden

Vid sandwichelement som är tillverkade enligt positivmetoden gjuts den bärande innerskivan längst ner i form. Dessa element tenderar ofta att vara relativt plana eftersom de olika buktningsfaserna tar ut varandra. Precis som vid negativmetoden ger uttorkningen av elementet en buktning där inner- och ytterskiva buktar ifrån varandra. Genom separation i plattorna böjer båda skivorna uppåt. Slutresultatet blir då att utböjningen i den bärande skivan tar ut varandra och planar ut. Däremot blir utbuktningen desto större i ytterskivan eftersom de två faserna adderas till varandra. Men eftersom den bärande plattan är kraftigare hindras det mesta av buktningen även om det fortfarande finns risk att beklädnadsplattan spricker, (Haeussler 1980).



Figur 15 - Slutresultatet av buktningen för ett betonelement enligt positivmetoden (Haeussler 1980).

När ytterskivan gjuts nedåt i form uppkommer alltså en kraftig utbuktning medan vid gjutning med innerskivan nedåt uppkommer ingen eller måttlig buktning inåt av hela elementet (Haeussler 1980).

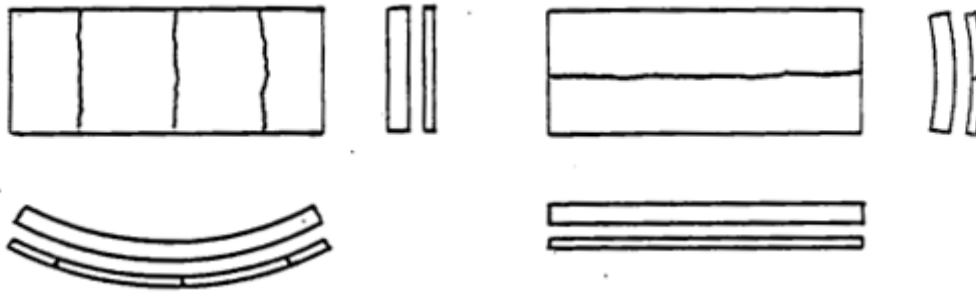
Sprickor

Ibland förekommer sprickor i beklädnadsplattan. De är små eller väldigt små och påverkar därför inte hållfastheten på elementet och innebär därför ingen säkerhetsrisk. Det har däremot betydelse för fasadens utseende eftersom det bildas smutsränder längs sprickorna. Fukten stannar kvar i sprickorna efter regn och dammpartiklar fastnar i dessa och runt sprickorna. Det innebär att det blir breda smutsränder på fasaderna vilket är vanligast på frilagda ytor, (Betongvaruindustrin 2009).

Sprickorna är alltid riktade vinkelrät mot elementkanten vid negativmetoden. För plattor tillverkade efter positivmetoden är däremot sprickor ovanligare och bildas i så fall i oregelbundna riktningar (Haeussler 1980).

Plattor som är gjutna med ytterskivan upp i form förblir raka eller riskerar att få en inåtbuktning som kan ge raka sprickor, parallellt med skivans kant. Detta fenomen beror på att buktningen av ett element sker i två olika stadier. Först antar plattan en sfärisk form eftersom den olikformade krympningen är oberoende av riktningen. Efter en tid ombildas buktningen till en cylindrisk form. Så länge den sfäriska deformationen består är buktningen relativt liten och det förekommer inga sprickor. Men vid övergång till cylindrisk form försvinner buktingen i en riktning medan buktingen i den andra riktningen fördubblas. Samma sak gäller de element som är tillverkade enligt negativmetoden, dvs. att de inte tenderar att spricka förrän de antagit formen av en cylindermantelyta, (Haeussler 1980).

Omvandlingen från sfärisk till cylindrisk form kan ske på annat sätt än det som beskrivits tidigare t.ex. vid montage. Förhindras en buktning i längsriktningen blir buktningsriktningen vinkelrät mot längdriktningen och sprickorna kommer att löpa parallellt längs elementet, (Haeussler 1980).



Figur 16 – Sprickbildning i väggelementet,
a) Om inte den längsgående buktningen hindras.
b) Om den längsgående buktningen förhindras. (Haeussler 1980)

Toleranser

För att elementen ska passa vid montage måste elementen innehålla en viss måttnoggrannhet, vilket anges med toleranser. Toleranser sätts i förhållande till estetik, funktion och tillverkningsmetoder och i de flesta fall finns standardiserade toleranser för varje del av elementet, (Betongvaruindustrin 2009).

Rörelser

När sandwichelement konstrueras måste man ta hänsyn till de rörelser som uppträder i elementet. Dessa beror på fukt- och temperaturrelser och påverkar både dimensioneringen av fogar och förbindelsestålet mellan betongskivorna, (Beijer, 1977).

1.1.14 Rörelser i fogarna

Rörelsen i fogarna mellan fasadelementen påverkas av skivornas rörelser men även av hela stommens rörelser. Det tillkommer dessutom rörelser i infästningarna mot stommen och samt effekter av det temperaturförhållande som råder vid montage och fogning (Beijer 1977). Rörelsernas storlek är en funktion av fukttinnehållet, vilket i sin tur varierar med luftens relativa fuktighet vilket gör dem säsongsberoende. Betongen krymper då fukttinnehållet minskar och sväller då fuktnivån ökar. Dessa rörelser kallas reversibla. När rörelserna endast sker i en riktning kallas de irreversibla, som vid krympning efter gjutning, (Betongvaruindustrin 2009).

Typ av rörelse	Inverkan på fogbredd	
	sommar	vinter
Temperaturbetingade rörelser, fasadelement	minskar	ökar
Irreversibel fuktrörelse, fasadelement	ökar	ökar
Irreversibel fuktrörelse, stomme	minskar	minskar
Reversibel fuktrörelse, fasadelement	ökar	minskar

Figur 17 - Rörelser i elementet (Betongvaruindustrin 2009).

Dessa rörelser ska sedan ställas i relation till fogmaterialets rörelseupptagningsförmåga och fogbredder kan därefter beräknas, (Betongvaruindustrin 2009).

1.1.15 **Rörelser i förbindelsejärnen**

Påkänningarna i stålet domineras av fukt- och temperaturrörelser. Vid dimensionering måste man ta hänsyn till två viktiga förhållande, risk för brott i förbindelsestegarna och risk för att förmågan att bära upp ytterskivan förloras. Storleken på dessa krafter beror i stor utsträckning på stegens placering i förhållande till rörelsecentrum (Beijer 1977).

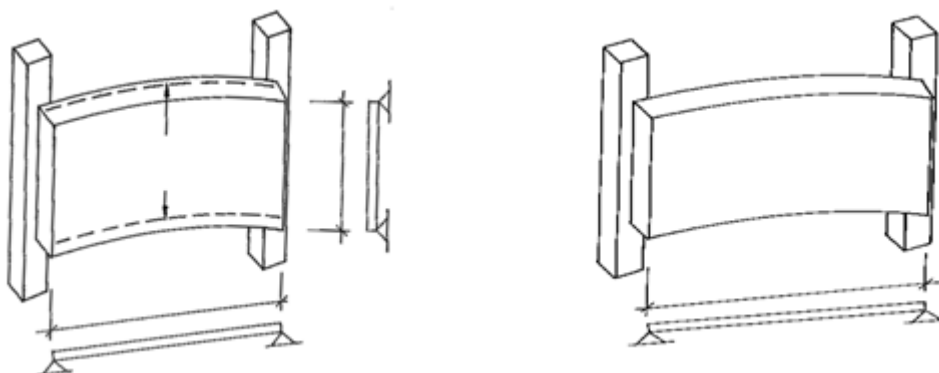
2 Inventering

För att få en uppfattning om hur Abetongs industrivägg tillverkas idag och även tillbaka till 80-talet studerades gamla ritningar. En fältstudie av färdigbyggda objekt där denna väggtyp hade använts genomfördes också.

Tidigare industrivägg

Abetongs industrivägg tillverkas idag enligt en rad olika lösningar. Varje konstruktör använder sina egna metoder för att projektera och ta fram en lösning.

De modeller som främst har använts är element med ramförstärkt innerskiva eller med innerskiva förstärkt med balkar i över- och underkant. Detta för att kunna beräkna lasterna på kortare spännvidd eftersom ramen/balkarna medför bärriktning i vertikalled.



Figur 18 - Lastens bärriktning då elementet belastas med vindlast.

a) I modellen som används idag med balkförstärkning i elementets innerskiva.

b) I modell utan förtjockningar på den bärande innerskivan. (Betongelementhandboken, 1996)

Lösningarna med förtjockningar på innerskivan innebär att denna måste gutas i två delmoment. Först gjuts en jämn skiva därefter byggs ramen respektive balkarna upp med isoleringen och ytterligare en gjutning måste göras vilket tar längre tid vid tillverkning än en jämntjock skiva.

När industriväggarna projekteras och tillverkas på flera olika sätt innebär det att samhörigheten mellan de olika konstruktionsavdelningarna minskar samt att produktionstiden i fabrik ökar.

Fältundersökning

2.1.1 Metod för fältundersökning

För att få en uppfattning om fördelar och nackdelar på de väggar som redan tillverkats och monterats i tidigare projekt gjordes en fältundersökning där sex stycken färdigställda objekt besöktes.

En kontroll av sprickbildning, utböjning, rostutfällning och montagetoleranser genomfördes genom okulär besiktning. Det noterades även vilka vädersträck som de eventuella bristerna fanns i.

Vid val av objekt som besöktes togs hänsyn till val av ytskikt på beklädnadsskivan, vilken konstruktionsprincip elementen var tillverkad efter, infästningar, storlek på element.

2.1.2 Resultat av fältundersökning

Det som kunde noteras vid fältundersökningarna var att element med frilagd yta hade en tendens till att böja ut på mitten. Framförallt gällde det de element som hade en längd över 7 meter och låg i riktning mot syd/väst.



Figur 19 - Elementen med frilagd yta har en tendens till kraftig utböjning på mitten.

Med släpljus på väggarna kunde man även se att kanterna hade en liten tendens att bukta utåt, skivorna tenderade till att gapa.



Figur 20 - Elementen "gapar" i kanterna vilket syns tydligt i släpljus.

2.1.3 Felkällor och slutsats av fältundersökningen

Det var svårt att mäta sig till hur stora utböjningarna av elementen var samt att ljuset mot väggen spelade väldigt stor roll. Tydligast kunde bristerna ses i släpljus då tydliga skuggor bildades på väggarna.

Slutsatsen från fältundersökningen var att element med frilagd ytterskiva tenderade till att böja ut på mitten. Detta beror troligtvis på utböjning enligt negativmetoden eftersom en frilagd ytterskiva gjuts ner i form vilket innebär att faktorerna från buktning vid uttorkning och separation adderas till varandra. Elementets utvändiga delar torkar snabbare än de inre som får den bärande innerskivan och ytterskivan att bukta från varandra. Samtidigt kommer separation ske i skivorna där de tyngre partiklarna sjunker ner mot formen och plattan böjer sig uppåt eftersom den övre delen med finare partiklar får större krympning. Resultatet blir att den tjockare innerskivan tvingar den tunnare beklädnadsskivan att böjas och ytterskivan riskerar att spricka. Det var dock svårt att se om elementet spruckit mellan de frilagda stenarna. Dock noterades att utböjningar mot fasader mot sydväst hade en större tendens att bukta ut än fasader i övriga vädersträck. Detta tyder på att det förekommer utböjning på grund av temperaturdifferenser i elementet eftersom solen värmer elementet som mest i detta vädersträck.

Att elementen gapar beror troligtvis på en kombination av separation vid uttorkning samt placering av stegar, bärarkare och hårnålar mellan skivorna. Därför är det viktigt att hårnålarna i elementets kanter placeras rätt och att de får tillräcklig förankring i både ytterskiva och innerskiva. Det har visat sig att längden på hårnålarna ska ökas aningen på grund av att nålarna böjs när de trycks igenom isoleringsskivorna och går snett in i betongskivorna.

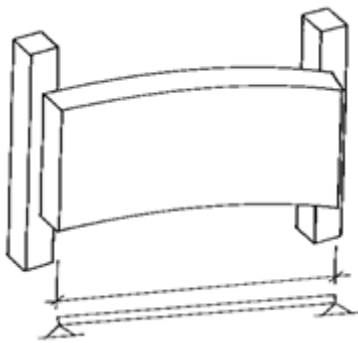
3 Metod för optimering av industriväggar

Detta avsnitt inleder dimensioneringen av industriväggarna.

Beräkningsmodell

Eftersom Abetong idag tillverkar sina industriväggar på en mängd olika sätt är uppgiften med denna studie att optimera sandwichväggen och skapa en enhetlig lösning som fungerar på alla konstruktionskontor samt fabriker. I detta ska det ingå dimensionering av elementen, dvs. tjocklekar på betongskivor, armeringsalternativ, förbindelsesystem, infästningar och k-gods ska bestämmas.

Väggarnas användningsområde är främst som ytterväggar i industribyggnader med en liggande sandwichvägg där innerskivan bär mellan två pelare. Lösningarna som presenteras i resultatdelen är framtagna med utgångspunkt i att stommen består av betongpelare.



Figur 21 – Industriväggen bär mellan två pelare i stommen. (Betongelementhandboken, 1996)

Sandwichväggarna förutsätts utgöras av element med en längd mellan 5 och 7,2 meter, vilket är de vanligaste längderna med avseende på centrumavstånden mellan pelarna i industribyggnader. Här redovisas främst beräkningar för 6 meters element med undantag för enstaka resultat där det var svårt att endast presentera lösningen för 6 meters element. Alla beräkningar samt resultatet för alla väggstorlekar finns arkiverade hos Abetong.

Vid beräkningarna antas att tre respektive fyra element placeras vertikalt ovanför varandra med en maximal höjd på 16,8 meter.

Dimensioneringsprincip

Dimensioneringen av industriväggarna utförs enligt följande steg

- Höjden på elementen bestäms av skivberäkning och pelarknäckning.
- Elementen armeras efter brottgränstillståndet samt att utböjningen kontrolleras i bruksgränstillståndet.
- Utböjningen på grund av temperaturrelaterade rörelser kontrolleras.

- Stegens kapacitet kontrolleras
- Dimensionering av infästningar och dubb.
- Kontroll av spjälkning och prägling vid pallning mellan elementen.

Beräkningarna är samlade i Bilaga A-G

Beräkningsförutsättningar

Dimensioneringen av industriväggarna utförs i de snitt och med de laster som ger de mest ogynnsamma fallen.

3.1.1 Beräkningsprogram

Tabeller och enklare beräkningar utförs i kalkylprogrammet Excel.

För att ta fram ritningar och skisser används AutoCad 2007.

Vid beräkningar för dimensionering används Ramanalys 6.0, Win Plate. 5.1 samt Excel-program som tillhör Abetong.

Dimensioneringsförutsättningar

3.1.2 Beteckningar

Elementets höjd h , elementets längd l och t dess tjocklek.

3.1.3 Material

Materialvalen i väggelementen är viktiga både för hållfastheten och för väggens beständighet. Vid val av exponeringsklasser är ytterskivan dimensionerad efter att vara cyklist våt och torr (XC4) vid tanke på korrosion föranledd av karbonatisering. Innerskivan som aldrig kommer utsättas för väder och vind anses som torr eller ständigt våt (XC1). Väggarna bedöms inte vara särskilt utsatta frostangrepp och beräkningarna är genomförda med den lägsta klassen (XF1).

Vägg

Exponeringsklass: XC4+XF1 (YS) och XC1 (IS)

Betong: C30/37

Armering

Ytterskivan N5150

Innerskivan N5150, N6150 eller N6100

Samtliga nät NPs500

Isolering: Alla typer av isolering kan användas.

Pelarförtjockning B500BT

Randarmering B500BT

3.1.4 Laster

Med hänsyn till lasternas variation över tiden delas lasterna in i permanenta och variabla laster och olyckslaster.

Permanenta laster

Egentyngd

Last av egentyngd beräknas enligt formel nedan. Med egentyngd avses konstruktionens tyngd. Sandwichelementen förutsätt utföras med normalarmerad betong med tungheten $\gamma_{btg} = 2500 \text{ kg/m}^3$. I beräkningar av den utbredda lasten från egenvikten har isoleringen mellan betongskivorna försumrats.

$$q_{egt} = (A_{ISK} \cdot t_{ISK} + A_{YSK} \cdot t_{YSK}) \cdot \gamma_{btg}$$

A_{ISK} = Area innerskiva

A_{YSK} = Area ytterskiva

t_{ISK} = tjocklek innerskiva

t_{YSK} = tjocklek ytterskiva

Vid olika ytskikt t.ex. matrisgjutning med tegel måste dessa fall betraktas i separata fall där man tar hänsyn till dess densitet.

Krympning

Betongens krympning beror av många faktorer varav den viktigaste är den relativa luftfuktigheten i omgivningen av konstruktionsdelen men även betongkvalitén, dimension på konstruktionsdelen samt betongens ålder efter gjutning påverkar, se BKR avsnitt 7:3124.

Betongens slutkrympning bestäms enligt BBK avsnitt 2.4.6 till $\epsilon_{cs} = 0,40 \cdot 10^{-3}$ med RF=55% för inomhus i uppvärmda lokaler (sandwichelementets innerskiva) respektive $\epsilon_{cs} = 0,25 \cdot 10^{-3}$ med RF=75% för normal utomhusmiljö (sandwichelementets ytterskiva).

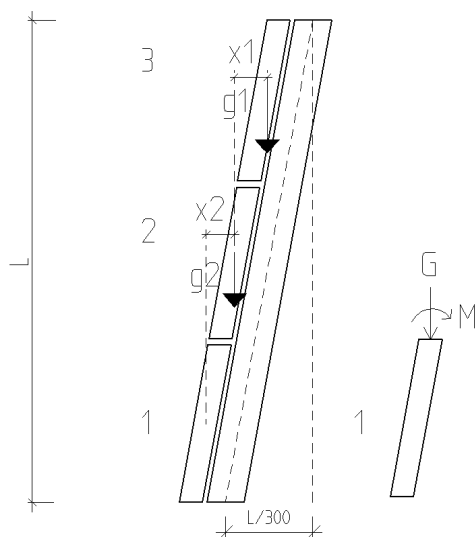
Krypning

Vid bestämning av betongens krypning skall den relativa luftfuktigheten, betongkvalitén, dimensioner på konstruktionsdelen, betongens ålder vid pålastning samt tiden från pålastningen till aktuellt tillfälle beaktas enligt BKR, avsnitt 7:3124.

Kryptalet för betong bestäms enligt BBK tabell 2.4.7a till $\varphi = 3$ vid inomhus, uppvärmda lokaler, för sandwichelementets innerskiva samt $\varphi = 2$ i normal utomhusmiljö för sandwichelementets ytterskiva.

Excentricitet

På grund av pelarens utböjning (här satt till max $l/300$ där l =pelarens längd) så kommer väggelementen erhålla en excentrisk belastning som ger upphov till ett moment i innerskivan. Excentriciteten beräknas enligt följande modell.



Avser lovartsida

Laster på nivå 1 beräknas enligt följande

$$G = g_1 + g_2$$

$$x_m = \frac{x_1 + x_2}{2}$$

$$M = G \cdot x_m$$

Kontroll har även gjorts på läsida

g = vikt ytterskiva

x = avstånd från tyngdpunkten

M = moment pga stedsättning

Variabla laster

Vindlast

Vindlast beräknas enligt Snö och vindlast, avsnitt 2.1 och 2.2 (Boverket 1997).

Vid beräkning av industriväggarna tas ingen hänsyn till att vinden är en dynamisk last, dvs. det bortses från konstruktionens svängningsegenskaper vid bestämning av vindlasten.

Vid beräkning på industribyggnader i denna rapport studeras referensvindhastigheter på $24 \leq v_{ref} \leq 26$ m/s.

Vindlasten är beroende av terrängens egenskaper och i denna studie används Terrängtyp II (TT II), öppen terräng med små hinder, t.ex. i kuperade slättlandskap med spridda träd och enstaka grupper av byggnader, alternativt Terrängtyp III (TT III), terräng med stora spridda hinder, t.ex. förortsbebyggelse, mindre tätorter.

Den karakteristiska vindlasten bestäms ur

$$w_k = \mu \cdot q_k$$

Vid bestämning av vindlasten till dimensioneringen av industriväggar sätts en maxhöjd på 16,8m.

v_{ref}	q_k kN/m ²	q_k kN/m ²
m/s	TT II	TT III
24	0,87	0,68
25	0,94	0,73
26	1,02	0,79

Utvändig vindlast på väggar och tak beräknas enligt Snö och vindlast avsnitt A2 (Boverket 1997), med formfaktorerna $\mu_{lov} = 1,2$ och $\mu_{sug} = 0,3$ vid dimensionering av väggelementen.

Last inom randzon används vid dimensionering av yttre beklädnad och dess fästdon. Dessa formfaktorer används vid dimensionering av infästningar och förbindelsesystemen i industriväggarna.

Temperaturändring

Temperaturen i en utomhuskonstruktion är beroende dels av utetemperaturen, dels av värmestrålningens inverkan. Till grund för beräkning av inverkan av ändringar i utetemperaturen godtas normalt temperaturens dygnsmedelvärde eller entimmesvärde för såväl höga som låga temperaturer.

För höga temperaturer godtas att dygnsmedelvärdet sätts till +25°C för hela landet. Medelvärdet är normalt tillämpligt vid dimensionering av normala betongkonstruktioner och andra konstruktioner med likartade temperaturegenskaper. (Svensk byggnorm, 1981)

Den termiska längdutvidgningskoefficienten $\alpha_c = 1,0 \cdot 10^{-5}$ per °C för både betong och stål enligt BBK 04 avsnitt 2.4.8 respektive 2.5.7.

3.1.5 Lastkombinationer

De kombinationer av lasteffekter och bärförmåga som ger den mest ogynnsamma inverkan på en konstruktion och som kan förekomma samtidigt när konstruktionen uppförs eller under dess livslängd skall beaktas enligt BKR 2:21

I den här studien beräknas lastkombinationerna 1, 3 och 9 samt långtidslast.

Lastkombination 1 som vanligtvis är dimensionerande.

Lastkombination 3 kan vara dimensionerande om de variabla lasterna är små i förhållande till de permanenta lasterna.

Lastkombination 9 som skall tillämpas vid dimensionering mot tillfälliga olägenheter i bruksgränstillstånd.

Långtidslast för laster som kan ge tidsberoende deformationer av betydelse.

3.1.6 Säkerhetsklasser

Väggens olika delar dimensioneras enligt följande.

- Nätarmering – Säkerhetsklass 1
- Infästningar och dubb – Säkerhetsklass 2
- Stegar och förbindelsesystem – Säkerhetsklass 2
- Prägling – Säkerhetsklass 2
- Spjälkning – Säkerhetsklass 2

3.1.7 Livslängdsklass

Industriväggarna dimensioneras efter en livslängdsklass L50.

3.1.8 Dimensionerande materialvärden betong

Brottgränstillstånd

Detta avsnitt baseras på BKR 7:3121 (Boverket 2003).

I brottgränstillstånd skall dimensionerande materialvärden bestämmas enligt följande formler

$$f_d = \frac{f_k}{\eta\gamma_m\gamma_n}$$

$$E_d = \frac{E_{ck}}{\eta\gamma_m\gamma_n}$$

Betongkvalitén i studien är C 30/37 vilket ger följande värden

$$f_k = f_{cck} = 29MPa \text{ i tryckhållfasthet}$$

$$f_k = f_{ctk} = 1,9MPa \text{ i draghållfasthet}$$

$$E_{ck} = 33GPa$$

$$\eta_{brog} = 1,2$$

$$\eta_{arm} = 1,0$$

γ_n = partialkoefficient beroende av säkerhetsklass

I brottgränstillstånd skall produkten $\eta\gamma_n$ för betong sättas lika med 1,5 vid bestämning av hållfasthetsvärde och 1,2 vid bestämning av elasticitetsmodul.

För armering skall motsvarande produkt $\eta\gamma_n$ sättas lika med 1,15 vid bestämning av hållfasthetsvärde och 1,05 vid bestämning av elasticitetsmodul.

Bruksgränstillstånd

Dimensionering i bruksgränstillstånd avser i första hand deformationer men även sprickbildning i väggelementen. I bruksgränstillstånd får dimensionerande materialvärden bestämmas enligt följande formler enligt BKR 7:32

$$f_d = f_k$$

$$E_d = E_k$$

Betongkvalitén i studien är C 30/37 vilket ger följande värden

$$f_k = 29MPa \text{ i tryckhållfasthet}$$

$$f_k = 1,9MPa \text{ i draghållfasthet}$$

$$E_k = 33GPa$$

4 Resultat

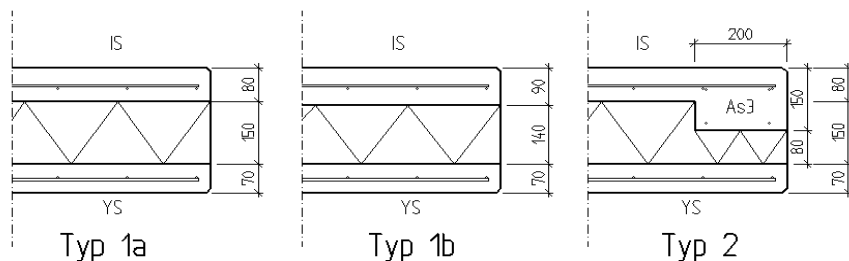
Resultaten presenteras i den ordning som projekteringen av en industriväg genomförs.

De resultat som presenteras gäller för element som är 6 meter långa. Beräkningar genomfördes för längder mellan 5 och 7,2 m och i avsnittet om förbindelsestagen finns det med resultat från flera längder.

För beräkningsförutsättningar och beräkningar se Bilaga A-G för respektive avsnitt.

Elementhöjder

Max höjder på elementen bestäms för följande väggtyper.



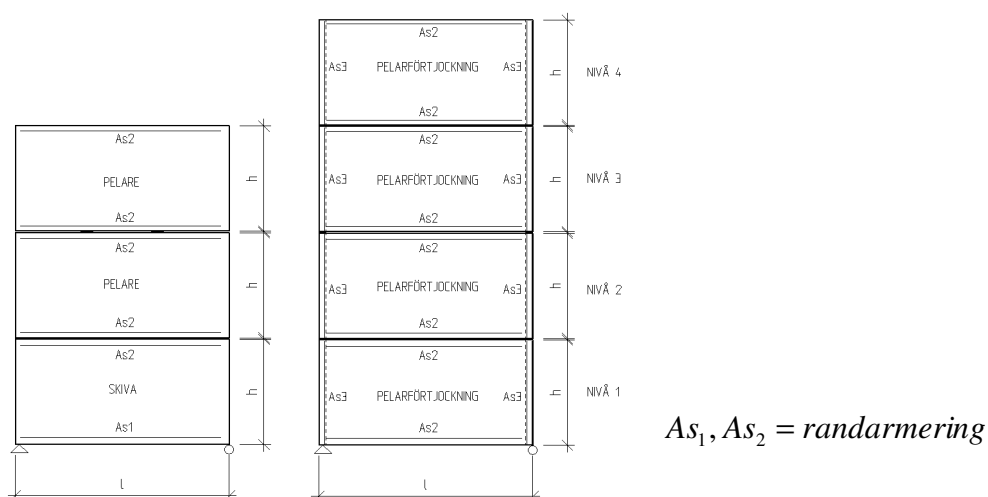
Figur 22 - YS 70 mm för samtliga typer.
Typ 1a) Jämntjocka skivor IS 80 mm
Typ 1b) Jämntjocka skivor IS 90 mm
Typ 2) Pelarförtjockning IS 80+(150x200) mm.

Typ 1 a och b) – Jämntjocka skivor

Denna typ används för max 3 element på höjden där understa elementet beräknas som skiva (hög balk) och de två övre beräknas som ”pelare”. Håltagningsmöjligheter i understa skivan är starkt begränsade.

Typ 2) - Pelarförtjockning

Denna typ används för max 3 till 4 element på höjden där elementen beräknas med kantpelare. I denna typ av element är håltagningsmöjligheterna är större. Den vertikala pelararmeringen i förtjockningarna tas ej med i beräkningarna.



Figur 23 - Väggens utformning.
Typ 1- Jämntjocka skivor respektive
Typ 2- Pelarförtjockning i elementets kanter.

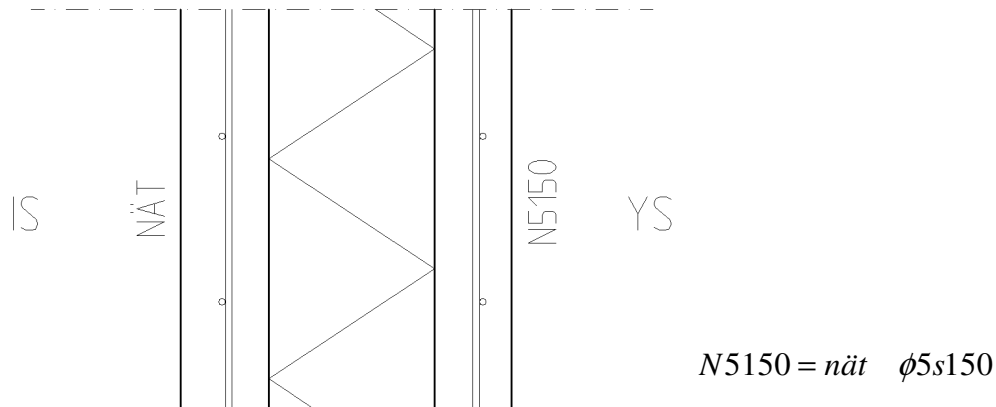
Tabell 1 - Armering för element upp till 6 meter och maximalt tre element på höjden

3 element, elementlängd \leq 6 m					
Typ 1-jämntjocka skivor			Armering IS		
Höjd nivå 2 o 3	Höjd nivå 1	YS/IS	A _s 1	A _s 2	A _s 3
1,5 < h \leq 3,1	2,5 \leq h \leq 4,2	70/80	2Ø12	1Ø8	–
1,1 < h \leq 3,6	2,5 \leq h \leq 3,1	70/90	2Ø16	1Ø8	–
	3,2 \leq h \leq 4,2	70/90	2Ø12	1Ø8	–
Typ 2-pelarförtjockning			Armering IS		
Höjd		YS/IS	A _s 1	A _s 2	A _s 3
h \leq 4,2		70/80+150	–	1Ø8	4Ø8

Tabell 2 - Armering för element upp till 6 meter och maximalt fyra element på höjden

4 element, elementlängd \leq 6 m				
Typ 2-pelarförtjockning		Armering IS		
Höjd nivå 1-4	YS/IS	A _s 1	A _s 2	A _s 3
h \leq 3,7	70/80 + 150	–	1Ø8	4Ø8

Nätarmering innerskiva



Figur 24- Nätet placeras centriskt i skivorna vänt enligt figur. Vertikalt snitt.

Placering av nät

Näten i skivorna placeras enligt figur ovan.

Nätstorlek

För att optimera armeringsmängden används olika centrumavstånd på näten (NPs500) i vertikal- respektive horisontalled. Vertikalt används minsta centrumavstånd enligt följande:

IS: 5300 (nät med Ø5s300)
YS: 5150 (nät med Ø5s150)
för samtliga elementstorlekar.

Avstånden horisontellt väljs efter elementlängd, terrängtyp och vindlast enligt tabell på följande sida.

Dimensionering av nät i brottgränstillstånd (horisontellt centrumavstånd)

Tabell 3 - Nätarmering i betongskivorna för 6 meter långa element.

Längd	TT	v_{rd}	Tjocklek	Nät IS	Nät YS
6	II	24	70 / 80	N6150	N5150
			70 / 90	N6150	"
		25	70 / 80	N6100	"
			70 / 90	N6100	"
		26	70 / 80	N6100	"
			70 / 90	N6100	"
	III	24	70 / 80	N6150	"
			70 / 90	N6150	"
		25	70 / 80	N6150	"
			70 / 90	N6150	"
		26	70 / 80	N6150	"
			70 / 90	N6100	"

Ex. N5150 avser $\varnothing 5$ med ett horisontellt centrumavstånd på 150 mm

Deformation av vind (bruksgränstillstånd)

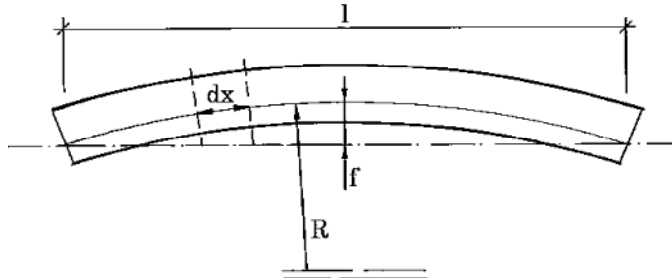
Tabell 4 - Deformation av vind för 6 meter långa element.

Längd	TT	v_{ref}	Tjocklek	Deformation*
6	II	24	70 / 80	6,3
			70 / 90	4,4
		25	70 / 80	6,7
			70 / 90	4,7
		26	70 / 80	7,3
			70 / 90	5,2
	III	24	70 / 80	4,9
			70 / 90	3,4
		25	70 / 80	5,2
			70 / 90	3,7
		26	70 / 80	5,6
			70 / 90	4,0

* = Deformation av enbart vind

Ovanstående beräknat med min. centrumavstånd enligt föregående tabell.

Kvarstående deformation av temperatur, krypning, och tillverkning



Figur 25- Deformation av elementet, (Betongelementhandboken, 1996).

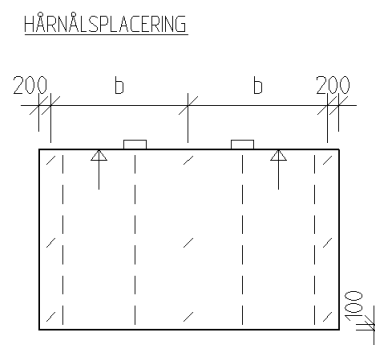
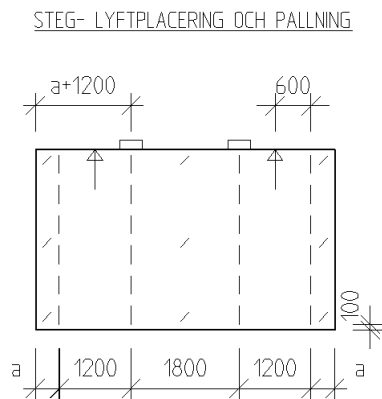
Tabell 5 - Deformationen (f) av elementet i mm.

Längd m	Ytterskiva ner i form		Ytterskiva upp i form		Toleranser-Bygga m. Prefab	
	YS 80 mm	YS 90 mm	YS 80 mm	YS 90 mm	Klass A	Klass B
6,0	16,0	16,4	11,2	11,5	15,0	24,0
6,2	17,1	17,5	12,0	12,2	15,5	24,8
6,4	18,2	18,6	12,7	13,0	16,0	25,6
6,6	19,4	19,8	13,6	13,9	16,5	26,4
6,8	20,6	21,0	14,4	14,7	17,0	27,2

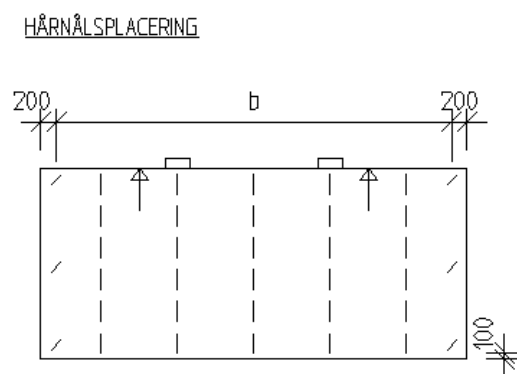
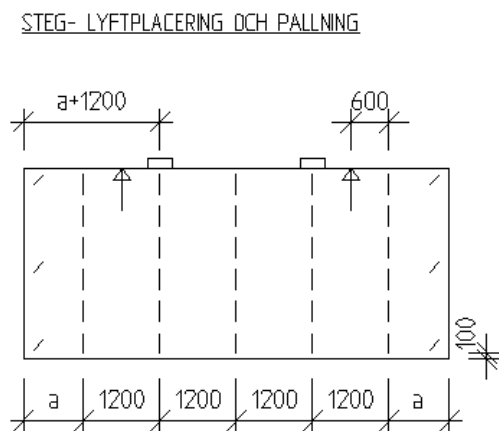
För lastförutsättningar se Bilaga C– Deformation av temperatur, krypning och tillverkning.

Stega, lyft, pallning och nålplacering vid olika elementlängder

Vid placeringen av förbindelsesystem i form av stegar och nålar har hänsyn tagits till en bredd på cellplastskivorna som är 600 mm för att ta bort momentet med att såga dessa innan de kan placeras ut mellan stegarna. För att undvika att ytterskivan böjer ut i kanterna placeras en rad med nålar längst ut i kanterna på elementen som tvingar ihop ytterskivan med den bärande innerskivan. Detta eftersom elementen har en tendens till att gapa beroende på att ytterskivan böjer sig på grund av krympning. Pallningspunkterna är placerade rakt ovanför stegarna för att föra ner kraften från elementet ovan ner där det undre elementet är som styvast.



Typ 1
 $5 \leq l < 6,6$ meter
 $400 \leq a < 1200$ mm
 $2300 \leq b < 3200$ mm

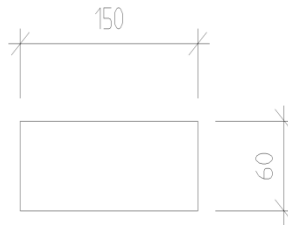


Typ 1

$6,6 \leq l < 7,2$ meter
 $900 \leq a < 1200$ mm
 $6400 \leq b < 6800$ mm

Pallning

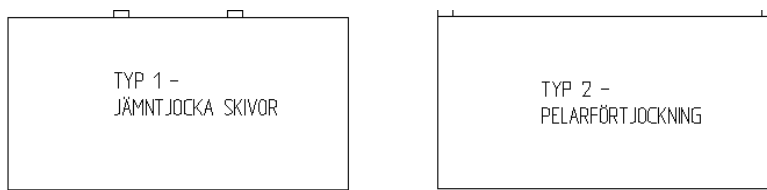
Stål: S235JR
t= 2, 5 och 10 mm



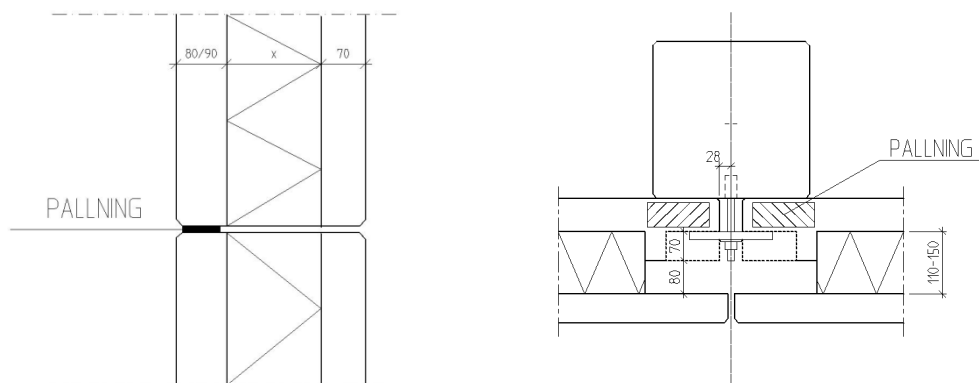
Figur 26 - Pallningsbricka 150x60xt mm.

Pallningsbrickorna placeras enligt kapitel 2.4 vid montering av jämntjocka element utan pelarförtjockning (typ 1).

Vid element med pelarförtjockning (typ 2) placeras pallningsbrickorna vid pelarförtjockningen, se figur nedan.



Figur 27 - Pallningsbrickornas placering vid
a) jämntjocka skivor måttlinjer
b) pelarförtjockning



Figur 28 - Pallningsbrickorna placeras
a) centriskt på den bärande innerskivan vid jämntjocka skivor
b) innanför förtjockningen på element med pelarförtjockning.

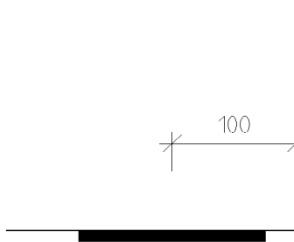
För att det understa elementet ska fungera som väggskiva vid typ 1 placeras pallningsbrickor i elementets kanter enligt figur:

(samma placering av pallningsbrickor på nivå 1 vid typ 2)



Figur 29 - På understa elementet placeras pallningsbrickorna i elementets ytterkanter på både jämntjocka skivor och med pelarförtjockning.

Kantavstånd vid pallning enligt figur nedan



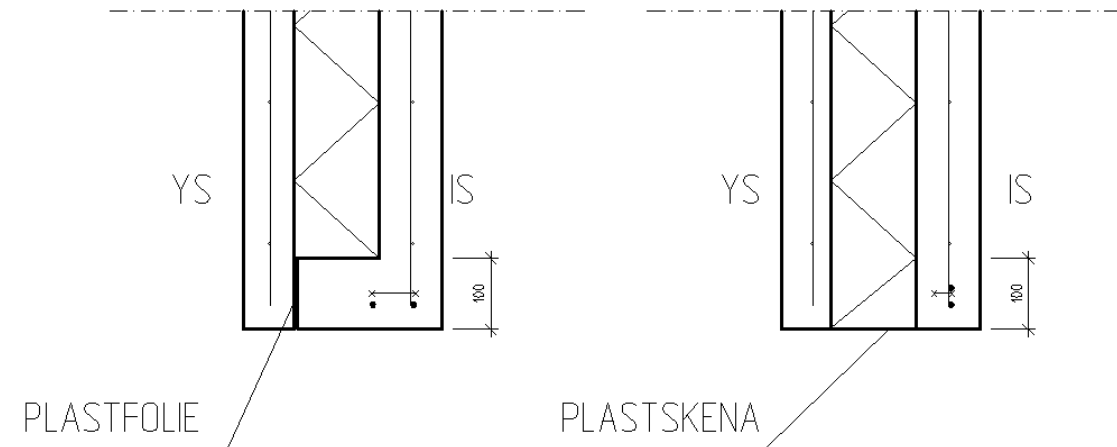
Figur 30 - Pallningsbrickans kantavstånd, 100 mm .

Element i nivå 1 (typ 1) armeras med en S bygel i nedre elementhörnen:



Figur 31 - Det nedersta elementet armeras med en S-bygel i underkant. a) s-bygelns placering i hörnet på elementet, b) s-bygelns placering i ett snitt genom väggen.

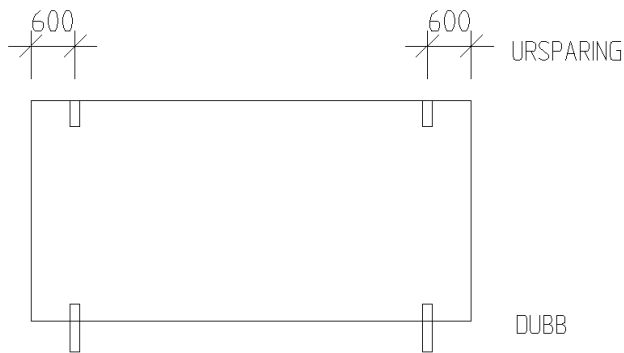
För att undvika att skador ifrån skadedjur så kan en förtjockning på understa elementet alternativt gutas in i underkant, alternativt en plastskena, se figur nedan:



Figur 32 - För att undvika att skadedjur som möss och liknande äter sig in i isoleringen
a) gjuts en förtjockning i underkant av elementet
b) gjuts en plastskena in i underkant av elementet.

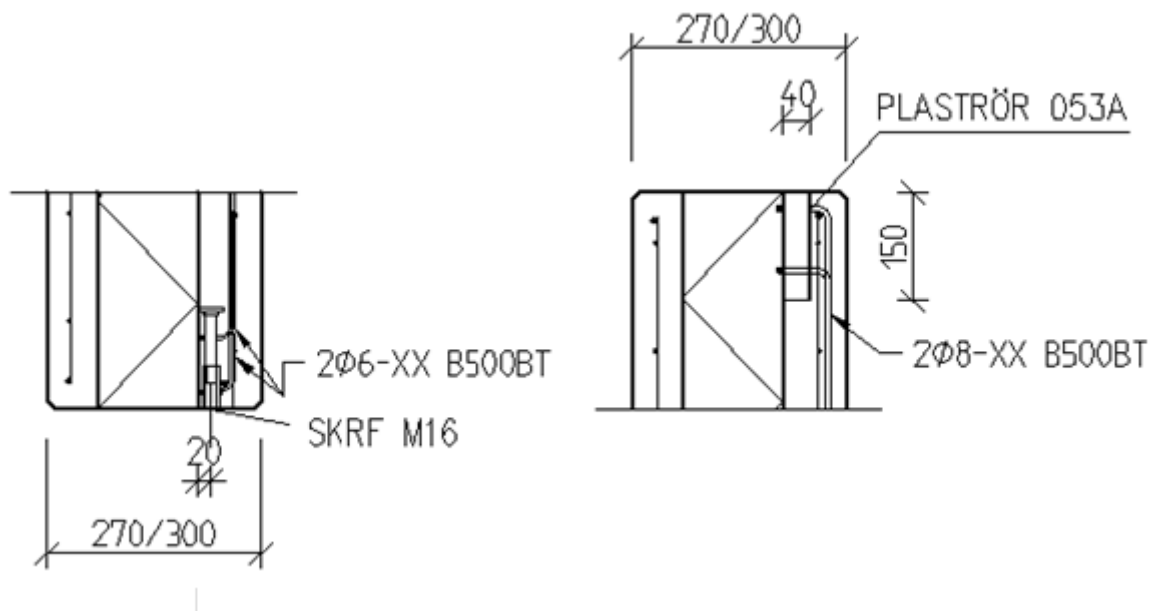
Dubb och ursparing

För att binda samman väggelementen i vertikalled samt styra elementets placering vid montage gjuts dubb in i underkant av den bärande innerskivan. Dubben placeras 600 mm från väggelementets kanter. Med samma kantavstånd görs en ursparing i överkant av innerskivan där en gängad stång går ner från dubben. Ursparingen gjuts igen på arbetsplatsen.



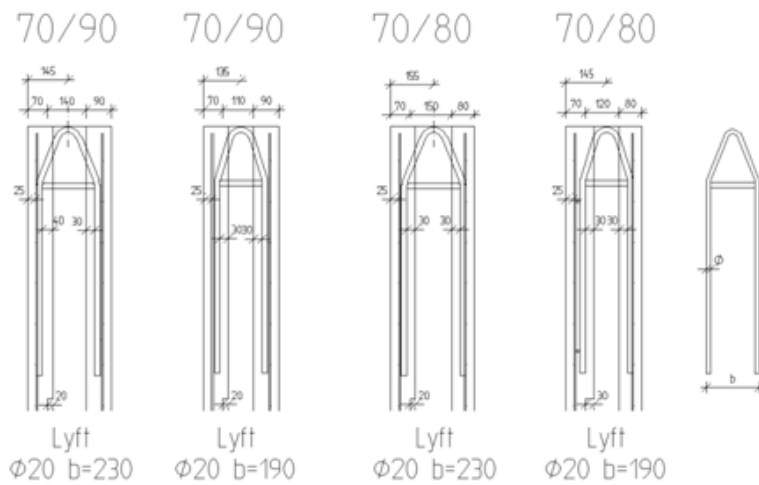
Figur 33 - Dubb placeras i nederkant av innerskivan. En ursparing görs i överkant för den gängade stången.

För att forma ursparingen vid gjutning av elementet gjuts ett plaströr ner i innerskivan. För att inte betongen ska tränga in i röret täcks botten före gjutning.



Figur 34 - Dubben respektive ursparingen i form av ett plaströr armeras enligt bild.

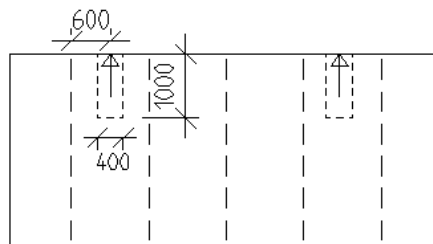
4.1.2 Lyft - elementvikt > 9 ton



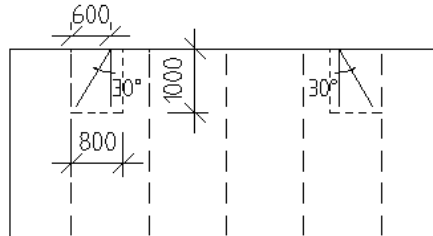
Figur 37 - För elementvikter över 9 ton placeras lyften enligt figur.

- Vid elementvikter $9 < G \leq 11,2$ ton placeras 2Ø20 lyft lodrät med förtjockning enligt bild nedan.
- Vid elementvikter $11,2 < G \leq 12,6$ ton placeras 2Ø20 lyft lodrät med förtjockning samt 2Ø20 lyft i 30° (vilket ger 60° lyftvinkel vid montage) enligt bild nedan.

ELEMENTVIKT $9 < G \leq 11,2$ ton (2Ø20 -LYFT)
FÖRTJOCKNING



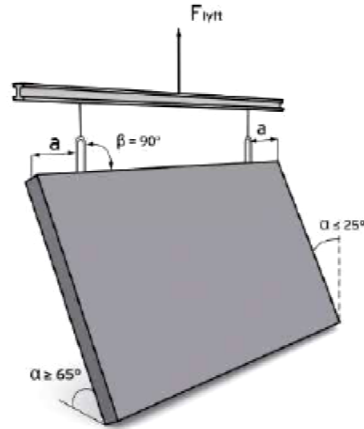
ELEMENTVIKT $11,2 < G \leq 12,6$ ton (4Ø20 -LYFT)
FÖRTJOCKNING



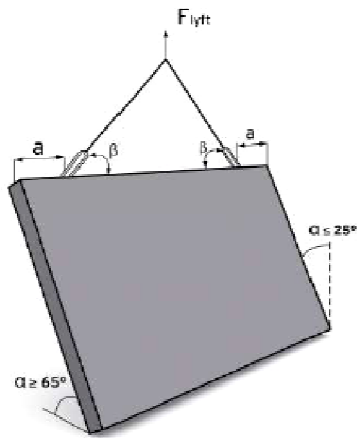
Figur 38 - Lyftet gjuts in vinkelrät mot elementkanten vid elementvikter mellan 9 och 11,2 ton respektive i 60 graders vinkel vid elementvikter mellan 11,2 och 12,6 ton. För att lyftet ska få tillräckligt täcksikt måste en förtjockning göras runt lyften för element med elementvikt större än 9 ton.

Optimering av industriväggar i prefabricerad betong
- en modell för effektivare projektering, produktion och montage

Vid användning av 4 lyft utnyttjas de raka lyften i fabrik respektive de sneda lyften vid montage.



FABRIK $>90^\circ$



MONTAGE 60°

Pelaranslutning

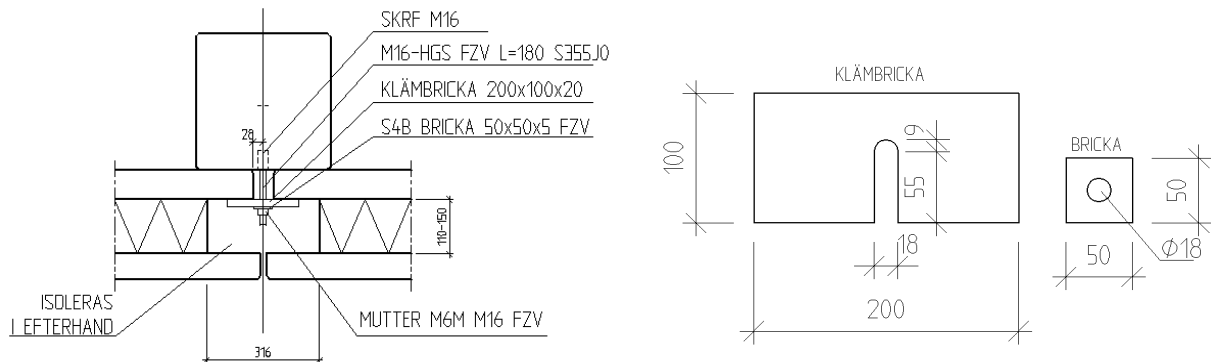
För att fästa in elementen i pelarna används följande lösningar.

4.1.3 Anslutning vid Typ 1

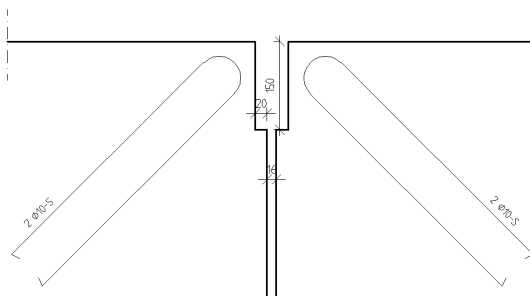
Klämbricka: 200x100x20mm grundmålad (A2.01)

Klämbricka till socklar: 200x100x10mm grundmålad (A2.01)

Bricka: 50x50x5 mm varmförzinkad

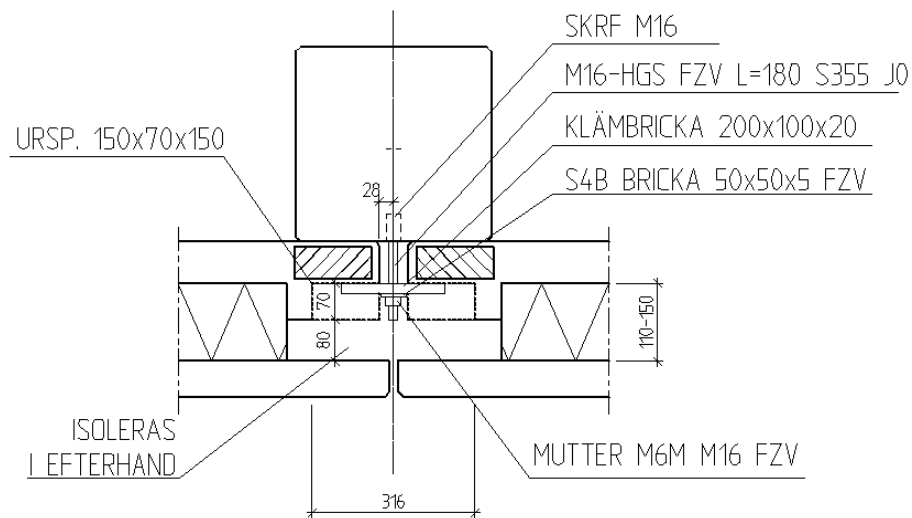


Figur 39 – För att fästa in väggelementet till stommen gjuts ett skruvfäste in i pelaren. Elementet kläms sedan fast med hjälp av en klämbricka och en liten bricka. Klämbrickan tillverkas med en slits för att underlätta vid montage då denna bara kan släppas uppifrån ner över pinnskruven.

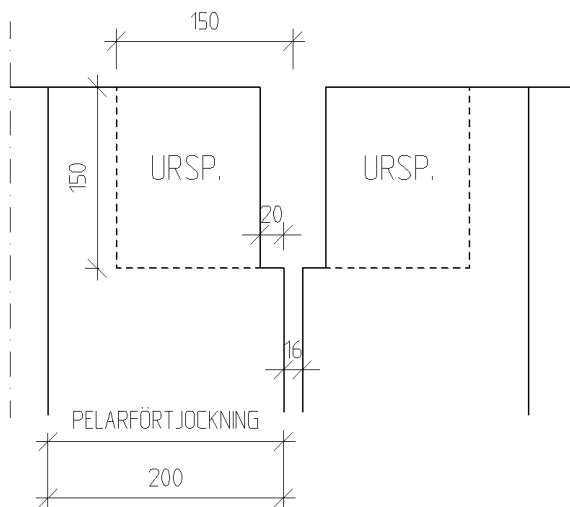


Figur 40 - Ursparing i innerskivan för infästningen.

4.1.4 Anslutning vid typ 2 (pelarförtjockning)



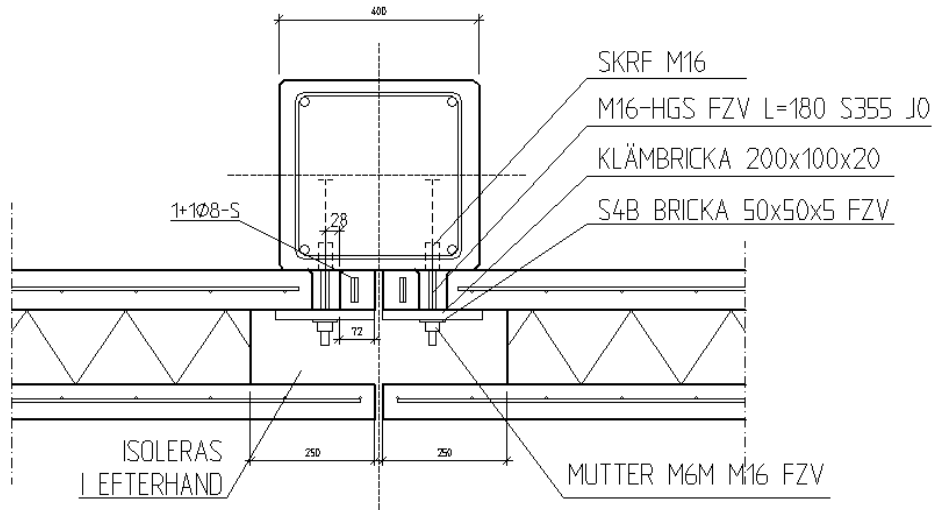
Figur 41 - För att fästa in väggelementet till stommen gjuts ett skruvfäste in i pelaren. Elementet kläms sedan fast med hjälp av en klämbricka och en liten bricka. Klämbrikan tillverkas med en slits för att underlätta vid montage då denna bara kan släppas uppifrån ner över pinnskruven.



Figur 42 - Ursparing i pelarförtjockningen för att kunna fästa in elementet.

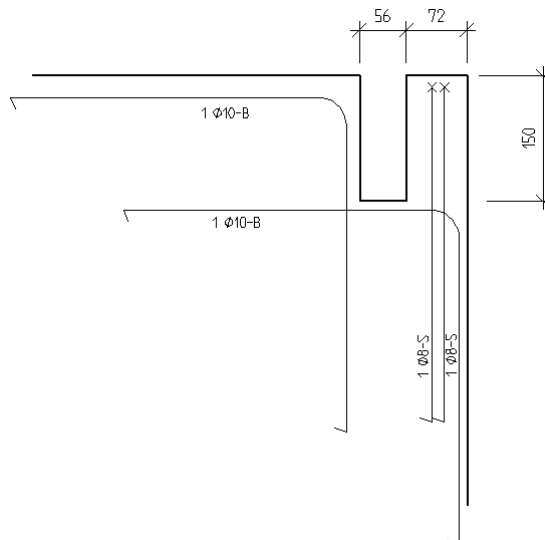
4.1.5 Montage av ett element i taget

Då önskemål finns om att kunna montera ett element i taget så används nedanstående lösning (endast typ1). Minsta pelarbredd är då 400mm



Figur 43 - Vid elementvis montage används lösningen med en klämbricka per element. Denna lösning fungerar endast för element med jämntjock innerskiva.

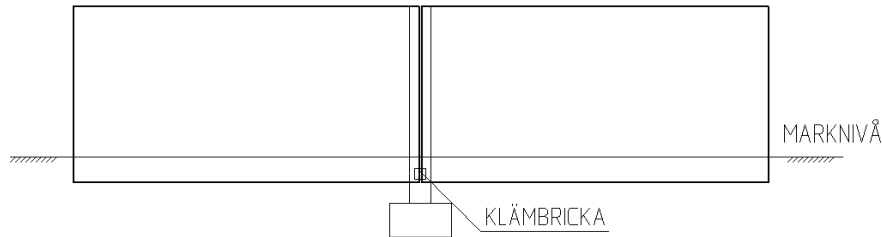
Hörnarmering: Elementet armeras med två S-byglar för att motverka sprickbildning i hörnet av elementen



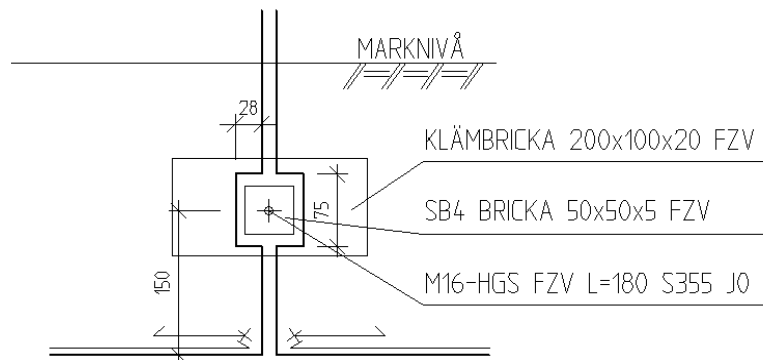
Figur 44 - Vid elementvis montage görs en slits i innerskivan för att kunna skruva fast elementet. För att motverka sprickbildning i hörnet av innerskivan armeras innerskivan upp med byglar.

4.1.6 Montage av element under marknivå.

Ibland kan det bli aktuellt att behöva montera de understa väggelementen under marknivå, ett typ av sockelelement. I det fallet är det inte lika viktigt att dölja infästningen eftersom det kommer fyllas upp mot väggen och infästningen kommer döljas och en enklare och billigare lösning kan användas. Vid montage under marknivå görs en ursparning genom både inner och ytterskivan och elementet kläms sedan fast med en stor klämbricka. För att undvika korrosion används rostfria brickor.

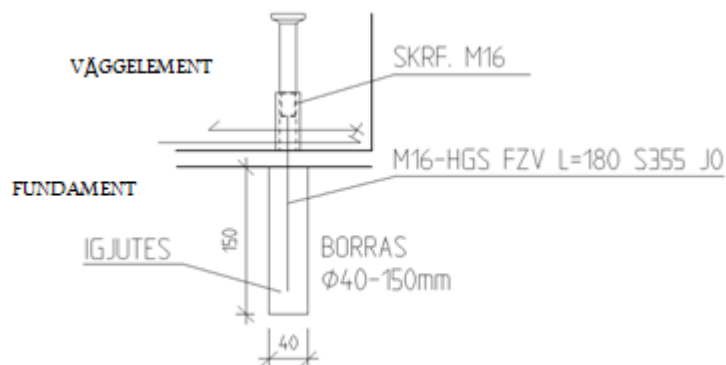


Figur 45 - Då marknivån går över infästningens placering kläms elementet fast på utsidan som döljs av mötffyllnadsmaterial.



Figur 46 . Detalj på infästning under marknivån.

Vid infästning under marknivån används infästning enligt Figur 46. Alternativt kan en infästning med dubb till fundament användas enligt Figur 47.



Figur 47 - Infästning med dubb och gängstång till fundament.

5 Slutsats

I denna studie har en mall för dimensionering och projektering av industriväggar åt Abetong tagits fram.

Vid framtagandet av denna rapport har det fokuserats mycket på att ge konstruktionsavdelningen ett underlag för snabbare och mer effektiv projektering samt ge fördelar i produktion och vid montage. Detta ger samtidigt ett stöd redan vid försäljning av industriväggar när färdiga typlösningar och modeller kan presenteras för kunden i ett tidigt skede. Det har även lagts stor vikt vid att ha enhetliga lösningar på de olika komponenterna för att standardisera industriväggen och på så vis minska kostnaderna i de olika leden.

För optimering av industriväggarna har man försökt minska materialåtgången så mycket som möjligt både för betong och armering. Detta har bidragit till tunnare betongskivor och endast ett armeringsnät i varje skiva. Förtjockningar som tidigare fanns som ”balkar” i underkant av elementen samt i en ram av förtjockning runt hela elementet har tagits bort. Detta gör att mindre betong behövs till varje element samt att man kan minska tid för att ta fram ritningar vid projekteringen. Genom att ta bort så mycket förtjockningar som möjligt sparas även tid vid gjuttillfällena i fabrik.

Vid placeringen av förbindelsesystem i form av stegar och nålar har hänsyn tagits till en bredd på cellplastskivorna som är 600 mm för att ta bort momentet med att såga dessa innan de kan placeras ut mellan stegarna. För att undvika att ytterskivan böjer ut i kanterna placeras en rad med nålar längst ut i kanterna på elementen som tvingar ihop ytterskivan med den bärande innerskivan. Detta eftersom elementen har en tendens till att gapa beroende på att ytterskivan böjer sig på grund av krympning.

För att underlätta vid montage av industriväggarna har samma typ av lyft använts för att slippa byta lyftöglor ute på arbetsplatsen och förenkla i fabrik. På de största elementen gick det tyvärr inte att lösa utan förtjockningar kring lyften på grund av att täckskiktet blev för litet eftersom lyftleverantörerna hade standardbredder på sina lyft.

För att skapa kontinuitet har valet av infästningar till den bärande stommen begränsats till en infästning för typ 1 respektive typ 2. Att endast använda samma typ av infästningar underlättar även ute på arbetsplatsen när elementet ska monteras eftersom en standardlösning innebär mindre frågetecken och ger snabbare och lättare montage. Finns det behov av att montera ett element i taget för att t.ex. kunna passa in rätt färgskiftningar på fasadskivorna är en specialinfästning presenterad för detta tillfälle.

Fältstudien av gamla objekt visade att det förekom en del utbuktning i vertikalled mitt över elementen på framförallt fasadskivor med frilagd yta. Detta beror delvis på separation av olika fina partiklar vid gjutning. När man har fasadskivor med frilagd yta gjuts denna neråt i form vilket bidrar till en ökad utböjning på grund av krympningen. För att minska risken för krympningen bör man ta detta i beaktande i fabriken genom att hålla elementen fuktiga med hjälp av plastskycken och genom fuktning av elementen vid härdning.

6 Litteraturförteckning

- Abetong AB. (2010). *P3*. Växjö, Sverige.
- Beijer, O. (1976). *Fasadelement av betong*. Stockholm: CBI.
- Beijer, O. (1977). *Rörelser hos fasadelement*. Stockholm: CBI.
- Beijer, O. (1976). *Temperatur och fuktrörelser i fasadskivor av betong*. Stockholm: CBI.
- Betongelementhandboken*. (1996). Oslo: Betongindustriens Landsforening.
- Betongvaruindustrin .(2009) *Bygga med prefab*. Bromma: Betongelementföreningen.
- Boverket (1997) Snö och vindlast, BSV 97, utgåva 2,
- Boverket (2004) Boverkets handbok om betongkonstruktioner BBK04
- Burström, P. G. (2001). *Byggnadsmaterial*. Lund: Studentlitteratur.
- Byggutbildarna. (u.d.). http://www.byggutbildarna.com/ka_blad/ka_bladet_tekn.htm. Hämtat från Byggutbildarna. Maj 2010
- Fagerlund, G. (1992). *Betongkonstruktioners beständighet*. Uppsala: Cementa.
- Finja*. (u.d.). Hämtat från <http://www.finja.se>. Hämtat maj 2010
- Fröjdfeldt, I., & Leijon, A. (2008). *Prefabricerade byggelement- en konceptbeskrivning*. Gävle: Högskolan i Gävle.
- Haeussler, E. (1980) Synpunkter på deformation och sprickbildning hos sandwichelement.
- Halfen*. (u.d.). Hämtat från <http://www.halfen.se/> Februari 2010
- Heidelberg Cement. (u.d.). *Abetong AB*. Hämtat från <http://www.abetong.se> den 2010-05-03
- Holmberg, Å. (1957). *Sandwichelement av samverkande skivor*. Lund: AB, Halmstads järnverks.
- Marklund, M., & Nilsson, E. (2008). *Prefabricerade segmentbroar för väg*. Luleå: Luleå tekniska högskola.
- Modig, S. (Nr 5 2004). Att göra mer med mindre. *V-byggaren* , s. 5.
- Nordsjö Betong AB*. (u.d.). Hämtat från <http://www.norsjobetong.se/> Dec 2009

Olofsson, T.(1986) *Sandwichelement av betong med ofullständig samverkan*. Luleå: Avdelningen för konstruktionsteknik Tekniska högskolan i Luleå.

Peab. (u.d.). Hämtat från

http://www.peab.se/Om_Peab/Verksamhetsbeskrivning/Industriellt_byggande_den_2010-05-04

Peikko group. (u.d.). Hämtat från <http://www.peikko.se/> Maj 2010

Strängbetong. (u.d.). Hämtat från <http://www.strangbetong.se>

Svensk byggnorm. (1981). *SBN 1980*. Stockholm: Liber Förlag.

Åke Holmberg, E. P. (1961). *Sandwichelement i provning och tillämpning*. Halmstads Järnverks AB.

Östergaard, G. (2010). Teknisk chef, Abetong.

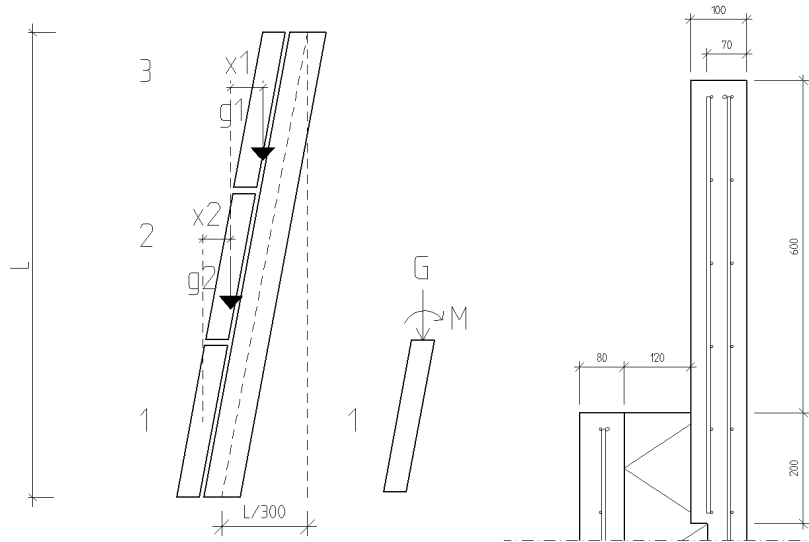
7 Bilagor

Förteckning över bilagor:

- Bilaga A – Elementhöjder
- Bilaga B – Nätarmering innerskiva
- Bilaga C – Kvarstående deformation av temperatur, krypning och tillverkning
- Bilaga D – Steg och nålplacering vid olika elementlängder
- Bilaga E – Pallning
- Bilaga F – Pelaranslutning

Bilaga A - Elementhöjder

Beräkningar görs i Ramanalys (Strusoft)

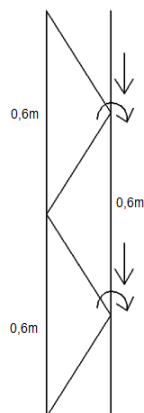


Figur 48 - a) Om en viss excentricitet uppstår i den bakomliggande stommen kommer detta ge upphov till ett moment på innerskivan. b) På översta skivan är det vanligt förekommande med en uppstickande sarg som i beräkningarna har begränsats till en maximal höjd på 600 mm

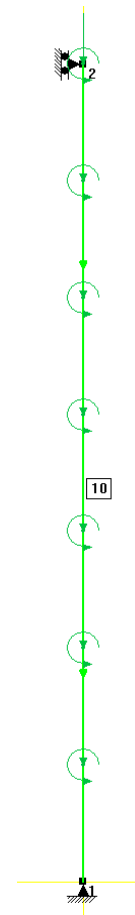
Laster

- Egenvikt (IS+YS)
- Moment från ytterskivans egenvikt
- Moment från uppstick på ytterskivan, max 600 mm
- Tyngd från ovanliggande element
- Moment från excentricitet
- Vind

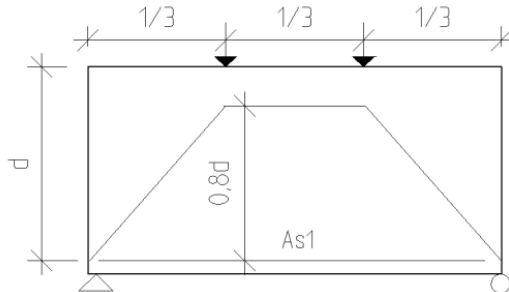
Stegarnas angreppspunkter sitter på s-avstånd 0,6 m vilket ger placeringen av lasterna på innerskivan.



Figur 49 - Förbindelsestegarnas angreppspunkter ger placeringen av lasterna på innerskivan som uppkommer från egenvikten av ytterskivan.



Understa elementet dimensioneras som skiva (hög balk). Detta följer beräkningsmodellen hög balk 6.6.2 i Betonghandboken och pallningen till ovalsittande element placeras på ca 1/3 av elementets längd, se Kapitel 2,4

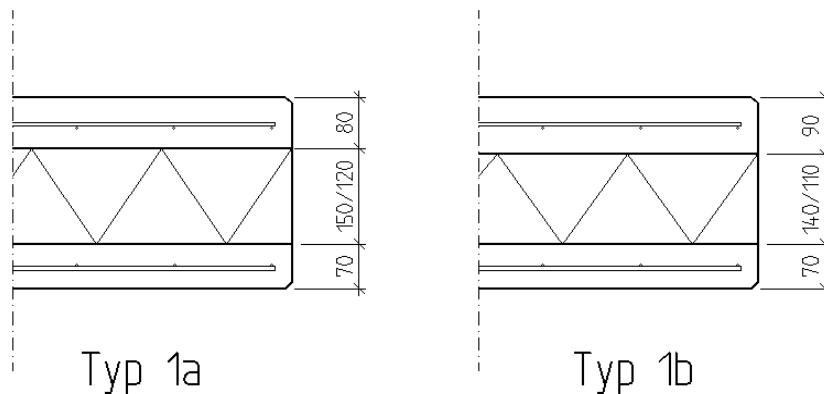


Figur 50 - Understa elementet dimensioneras som skiva (hög balk) med förutsättning att lasten uppifrån kommer ner på tredjedelspunkterna och att elementet pallas upp i ytterkanterna.

Typ 1 a och b:

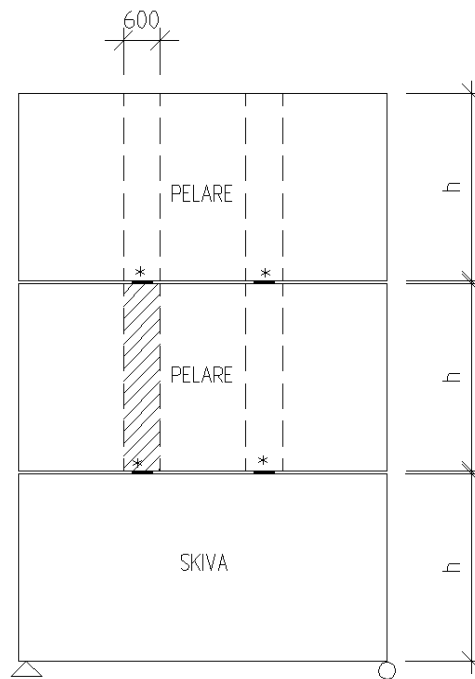
Elementen består av jämntjocka skivor

- 70 mm tjock ytterskiva
- 80 eller 90 mm tjock bärande innerskiva
- Vid IS 90, isolering 140 mm alt. 110 mm och vid IS 80, isolering 150 mm alt. 120 mm.



Figur 51 - a) Typ 1a, med en 80 mm tjock innerskiva. b) Typ 1b, med en 90 mm tjock innerskiva.

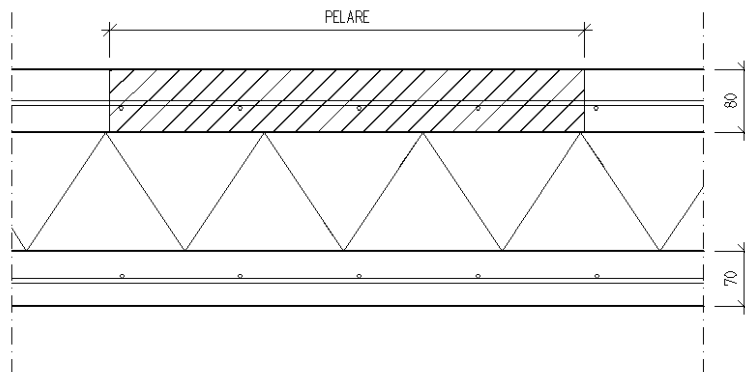
Denna typ används för max 3 element på höjden där understa elementet beräknas som skiva (hög balk) och de två övre beräknas som pelare. Hålltagsmöjligheten i understa skivan är starkt begränsad.



*=Pallningspunkter

Figur 52 - De understa elementet räknas efter beräkningsmodellen hög balk medan elementer från nivå två och uppåt beräknas som pelare.

Vid beräkning av pelarna i Ramanalys är dessa beräknade som oarmerade.
Beräkningar görs på en pelarbredd på 600 mm vilket är ett avsteg från BBK's krav på $b < 5t$ för att det ska betraktas som en pelare och inte en vägg.

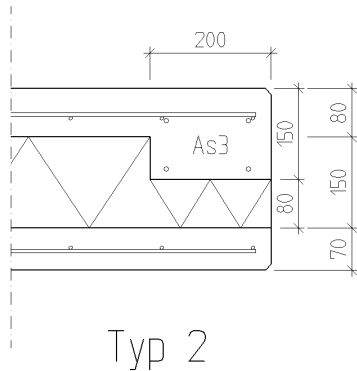


Figur 53 - Pelarberäkningarna görs på en pelarbredd på 600mm.

Typ 2:

Elementen består av en jämntjock ytterskiva, där innerskivan förses med kantpelare.

- 70 mm tjock ytterskiva
- 80 mm tjock bärande innerskiva med pelarförtjockning som är 200x150 mm



Figur 54 - Typ 2 består av en jämntjock skiva med en pelarförstärkning i elementets ytterkanter. Pelarförtjockningen har en dimension på 200x150mm.

Denna typ används för max 4 element på höjden där elementen beräknas med kantpelare där håltagningsmöjlighet är större jämfört med typ1. Pallningsbrickorna placeras vid pelarförtjockningen.



*=Pallningspunkter

Figur 55 - Element med pelarförtjockning pallas under förtjockningen.

Bilaga B - Nätarmering innerskiva

Beräkningar görs i FEM-Design 8.0 (Plate).

Genom plattberäkning tas det maximala momentet fram i FEM Plate och enligt gängse elasticitetsteori kan en armeringsmängd tas fram. Dimensioneringen av armeringsnäten i betongskivorna är beräknade för vindlasten på elementet och beräknas enligt följande.

- Brottlast , för att det inte ska uppstå brott i betongskivorna. Partialkoefficienten $\gamma_f = 1,3$
- Brukslast , för kontroll av utböjningen samt sprickor. Lastreduktionsfaktorn sätts till $\psi = 0,25$

Om två betongskivor sitter ihop med stegar och nålar förs vindlasten över från ytterskivan via stegar och nålar till innerskivan. Lasten som innerskivan får ta jämfört med ytterskivan bestäms av förhållandet mellan skivornas styvhet. Osprucket tvärsnitt förutsätts.

$$I_{\text{innerskiva}} = \frac{bh_{IS}^3}{12}$$

$$I_{\text{ytterskiva}} = \frac{bh_{YS}^3}{12}$$

$$I_{\text{tot}} = I_{\text{innerskiva}} + I_{\text{ytterskiva}}$$

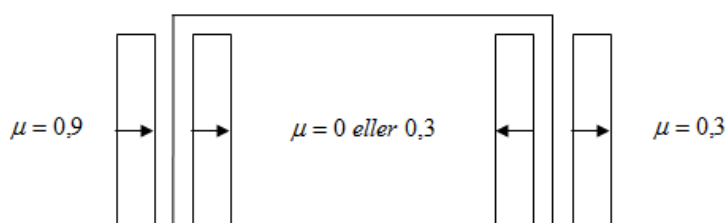
Beräkningar ger följande lastfördelning:

60% av lasten \rightarrow 70/80 tas av innerskivan.

68% av lasten \rightarrow 70/90 tas av innerskivan.

Följande antagande görs:

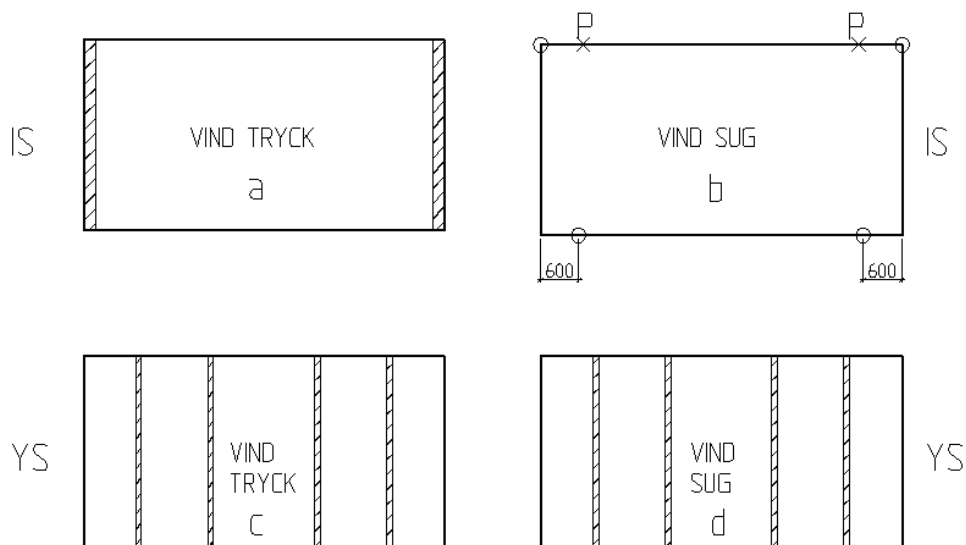
- $\frac{h}{w} \leq 1$ eftersom byggnaden antas vara max 15 meter hög och minst 15 meter bred.
- Alla väggytor antas vara lika otäta.



Figur 56 - Formfaktorer för väggarna.

Vilket ger formfaktorerna $\mu_{\text{lov}} = 1,2$ och $\mu_{\text{lä}} = 0,3$ som avser max vindlast på elementet.

Skivorna beräknas enligt figur nedan



Figur 57 - Modell för inner-, respektive ytterskivan vid dimensionering av armeringsnät a) vind tryck, innerskiva där pelarna tar upp lasten b) vind sug, innerskiva där infästningar och dubb håller fast elementet c) vind tryck ytterskiva där stegarna fungerar som stöd d) vind sug, ytterskiva där stegarna håller emot skivan

Vind tryck

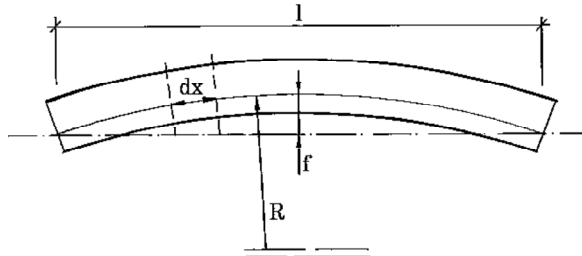
Innerskivan dimensioneras efter en jämt utbredd last i form av vindtryck med linjeupplag i kanterna. När vinden blåser mot väggelementen kommer de att vila mot stommen i byggnaden dvs. pelarna som elementen är infästa i.

Ytterskivan dimensioneras efter stegarnas placering mellan ytter- och innerskiva. Beräkningarna är gjorda med ett maximalt stegavstånd på 1,8 m. Vid dimensionering av armeringsnätet har det bortsetts från byglarnas förmåga att fördela vindlasten eftersom dess placering varierar efter olika storlekar på elementen.

Vindsug

Infästningar och dubb i innerskivan dimensioneras för vindlast sug enligt Figur b ovan. När det uppstår ett vindsug kommer hela element hänga i infästningarna utan att vila på pelarna.

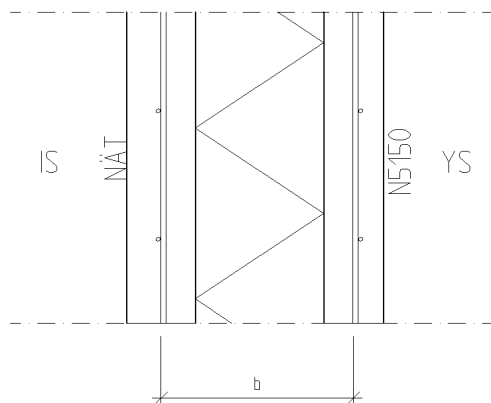
Bilaga C - Kvarstående deformation av temperatur, krypning, och tillverkning



Figur 58 - Utböjning av elementet

$$f = l^2 \cdot \Delta\epsilon / 8b$$

Enligt Norska Betongelementboken(1996)
 b = avståndet mellan skivornas mittplan



Figur 59 - b = avståndet mellan centrum skivor.

$$\Delta\epsilon = k_1 \cdot \Delta\epsilon^*$$

$k_1 = 0,8$ eftersom en viss samverkan uppstår vid användning av stegar

$\Delta\epsilon^* = 1,0 \cdot 10^{-3}$ för sandwichelement gjutna med fasaden nedåt i form

$\Delta\epsilon^* = 0,7 \cdot 10^{-3}$ för sandwichelement gjutna med fasaden uppåt i form

$\Delta\epsilon^*$ bör ökas om väggen blir utsatt för stora fukt mängder, t.ex. precis vid kusten.

$\Delta\epsilon^*$ bör ökas då soluppvärmningen kan bli speciellt intensiv

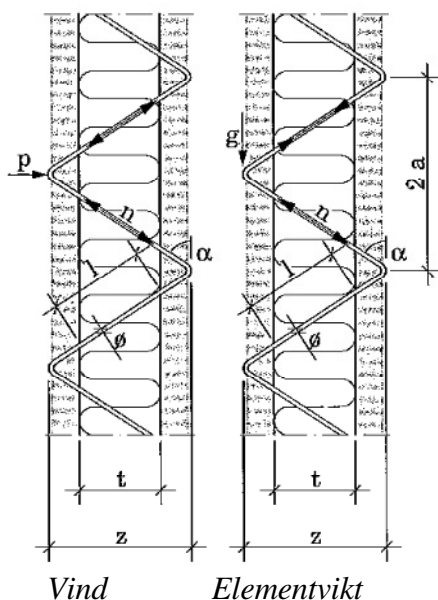
Bilaga D - Steg och nålplacering vid olika elementlängder

Kraften i stegarna beräknas i Ramanalys (Strusoft) och i Excel.

Stegarna dimensioneras för följande påkänningar:

- Vindlast (tryck och sug)
- Egentyngd av den upphängda ytterskivan
- Längdförändring av elementet pga. temperaturskillnader mellan ytter- och innerskiva.

Lasterna som påverkar stegen beräknas på de angreppspunkter som finns på stegen. Avståndet mellan dessa är $2a = 600$ mm (se figur nedan).



Figur 60 - Lasterna som förs över till innerskivan via stegen. a) horisontellt från vindlasten. b) vertikalt från elementvikten

Säkerhetsklass 2

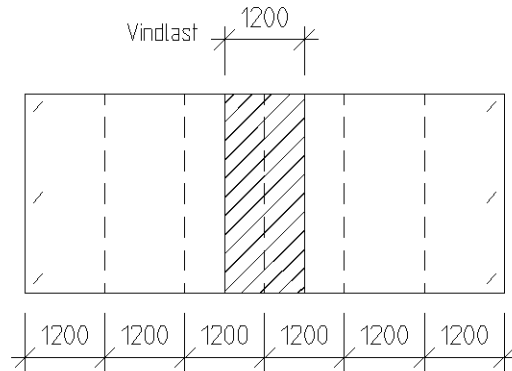
TT II och $v_{ref} = 26 \rightarrow$

$q_k = 1,224 \text{ kN/m}^2$ (tryck)

$q_k = 0,940 \text{ kN/m}^2$ (sug)

Stegarnas placering i elementen anpassas efter bredden på cellplastskivorna för att underlätta vid tillverkning av väggarna i fabrik. I följande figurer framgår farligaste lastbredder beroende på lasttyp.

Vindlasten

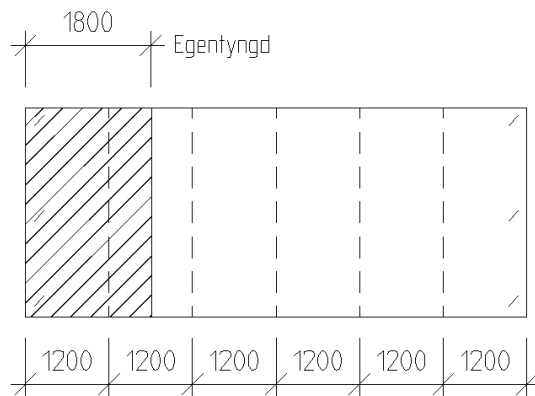


Figur 61 - Vindlastens maximala bredd blir centrumavståndet mellan stegarna.

Tryck: $q_{lov} \cdot 1,2 \cdot 0,6 = [kN / stegben]$

Sug: $q_{sug} \cdot 1,2 \cdot 0,6 = [kN / stegben]$

Egenvikt från ytterskivan



Figur 62 - Eftersom att inte nålarna i kanten på elementet tar upp krafterna från egenvikten blir maximala beräkningsbredd 1800mm

$t_{ytterskiva} \cdot 1,8 \cdot 25 \cdot 0,6 = [kN / stegben]$

Temperatur

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T$$

$$\alpha = 1 \cdot 10^{-5} \text{ per } ^\circ C$$

$$\Delta T = 50^\circ C \quad \text{temperaturdifferens enligt SBN}$$

80

Töjningen av temperaturlasten:

$$E_{ck} = 33 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = 2,5 \cdot 10^{-4}$$



Spänningsförhållandet mellan betong och stål:

Antar förhållandet mellan stålet och betongen styvhet $\alpha=20$

$$\sigma_{betong} = 33 \cdot 10^9 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4} = 8,25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{stål} = 20 \cdot 8,25 = 165 \text{ MPa}$$

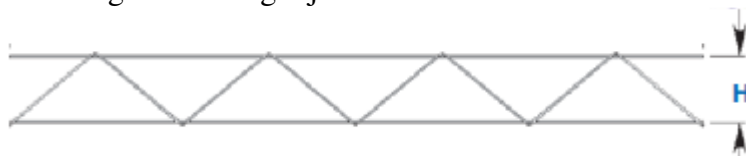
$$N = \sigma \cdot A = 165 \cdot 10^6 \cdot 0,0025^2 \cdot \pi = 3,24 \text{ kN}$$

Kraften beräknas på antalet angreppspunkter på stegen (exempel med 6 angreppspunkter)

$$3,24 \text{ kN} / 6 = 0,54 \text{ kN}$$

Stegens kapacitet

Stegens kapacitet beräknas med 140/150 mm isolering och en steghöjd $H=220$ mm eller 110/120 mm isolering och en steghöjd $H=180$ mm.



Figur 63 - Förbindelsestegens höjd

Drag

$$N_{drag} = A_s \cdot f_{yk} / \gamma_m \cdot \gamma_n$$

$$f_{yk} = 600 \text{ N / mm}^2$$

$$\gamma_m \cdot \gamma_n = 1,1 \cdot 1,1$$

$$N_{sd} = (\pi / 4) \cdot \phi^2 \cdot f_{yk} / \gamma_m \cdot \gamma_n = [\text{kN / ben}]$$

Tryck

$$N_{sd} = a \cdot f_{yk} \cdot A / \gamma_m \cdot \gamma_n$$

$$f_{yk} = 600 \text{ N/mm}^2 \quad \alpha = \text{vinkeln mellan de diagonala och raka järnen i stegen}$$

$$\gamma_m \cdot \gamma_n = 1,1 \cdot 1,1$$

$$l_c = 0,5l = 0,5 \cdot t / \sin \alpha$$

$$\lambda_c = \frac{l_c}{\pi} \sqrt{\frac{f_{yk}}{E_k}}$$

Tvärsnittstyp b ger

$$\omega_c = 0,58$$

$$N_{tryck} = (\pi/4) \cdot \phi^2 \cdot \omega_c \cdot f_{yk} / \gamma_m \cdot \gamma_n = [\text{kN/ben}]$$

Beräkningar på stegarna görs i Excel enligt följande principer:

Egenvikt huvudlast:

Drag

$$P_1 = 0,5 \cdot 1,15 \cdot egt_{ys} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \quad [\text{kN}]$$

Tryck

$$P_2 = -0,5 \cdot 1,15 \cdot egt_{ys} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \quad [\text{kN}]$$

Vind huvudlast:

Drag

$$P_1 = 0,5 \cdot 1,3 \cdot q_{vind} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} + egt_{ys} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} + P_{temp} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \quad [\text{kN}]$$

Tryck

$$P_2 = 0,5 \cdot 1,3 \cdot q_{vind} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} - egt_{ys} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} - P_{temp} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \quad [\text{kN}]$$

$$q_{vind} = q_k \cdot 0,9 \cdot b_{last} \cdot h_{element} \cdot \frac{1}{n}$$

n = antalet knutpunkter på stegen

$$P_{temp} = \frac{3,24 \text{ kN}}{n}$$

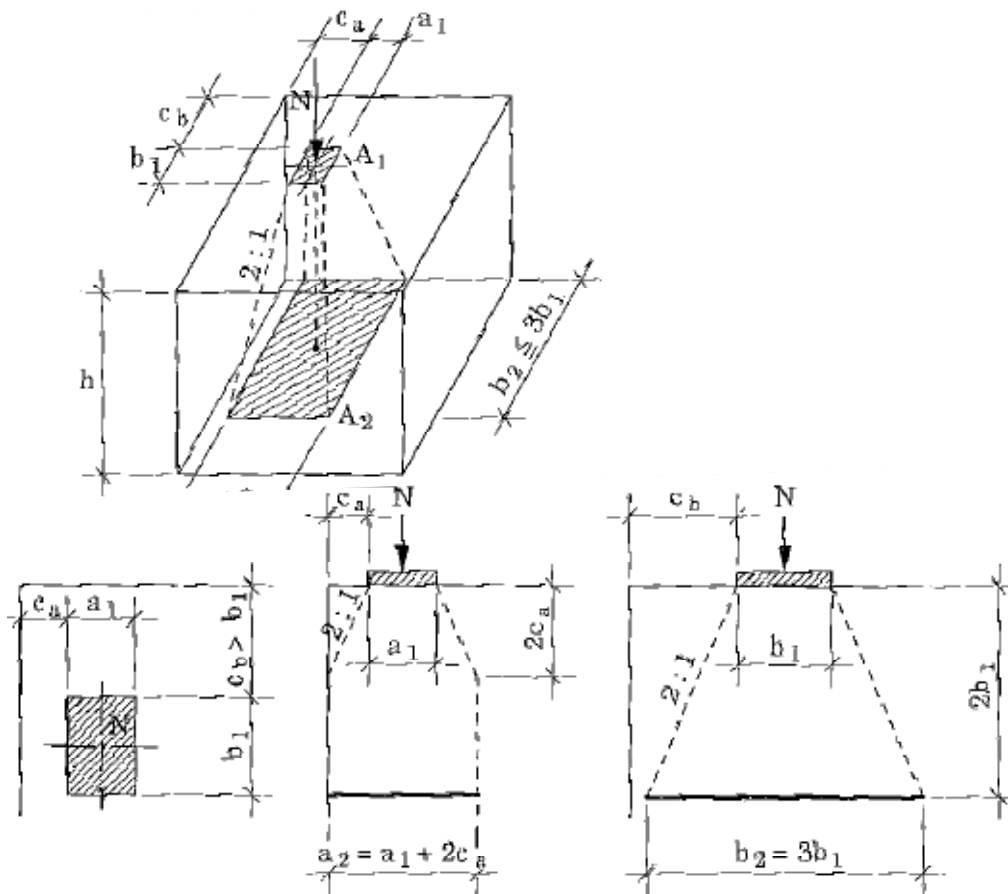
Bilaga E – Pallning

Pallningsbrickorna placeras på ca 1/3 av elementets längd (se Kapitel 2.4) från kanten eftersom detta är kriteriet för att understa elementet ska kunna beräknas med enligt beräkningsmodellen skiva (hög balk). Vid dimensionering av pallningsbrickorna tas hänsyn till två kriterier, prägling och spjälkning enligt BBK 04 kap 3.10 Säkerhetsklass 2

Prägling

Med prägling avses lokal krossning av betongen direkt under tryckkraften.

$$\sigma \leq f_{cc} \sqrt{\frac{A_1}{A_0}}$$



Figur 64 - Prägling beräknas enligt modell ovan.

$$f_{cc} = 17,6 \text{ MPa}$$

$$a_1 = 60 \text{ mm}$$

$$b_1 = 150 \text{ mm}$$

$$a_2 = 80 \text{ mm}$$

$$b_2 = 450 \text{ mm}$$

$$A_1 = a_1 \cdot b_1 = 60 \cdot 150 = 9000 \text{mm}^2$$

$$A_2 = a_2 \cdot b_2 = 80 \cdot 450 = 36000 \text{mm}^2$$

$$\sigma \leq f_{cc} \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 35,2 \text{Mpa}$$

Dock högst $3f_{cc}$

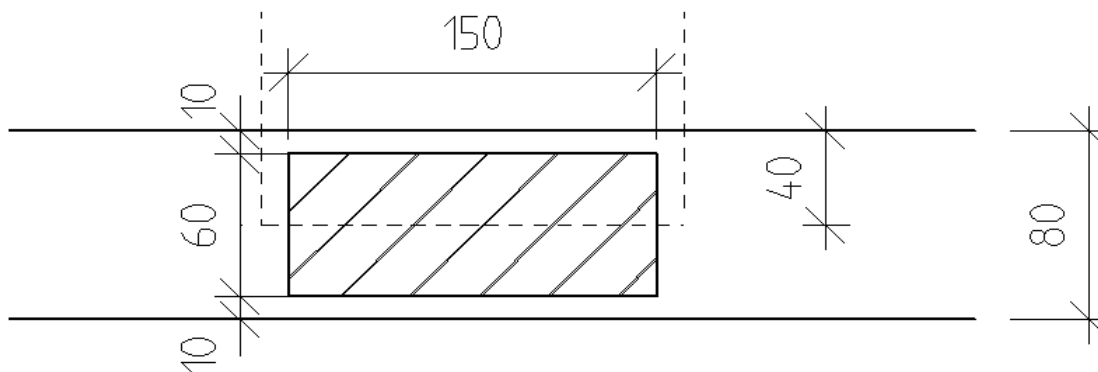
$$F_{\max} = 17,6 \cdot 10^6 \cdot 0,06 \cdot 0,15 = \underline{\underline{212 \text{kN}}}$$

Spjälkning

Med spjälkning avses uppsprickning i betong på grund av tvärgående dragspänningar på visst avstånd från tryckkraften. Beräkningar görs enligt BBK 04.

Storlek på pallningsbricka: 60x150 mm

Det värsta fallet ges av beräkningar på 80 mm tjock innerskiva då b blir den totala tjockleken på skivan.



Figur 65 - Modell för beräkning av spjälkning.

a beräknas enligt Figur 64

$$a = 40 + 150 + 40 = 230 \text{mm}$$

$$b = 80 \text{mm}$$

$$F_{R1} = 0,75 \cdot a \cdot b \cdot f_{ct} = 0,75 \cdot 230 \cdot 80 \cdot 1,15 = 15,8 \text{kN}$$

$$F_{R2} = (0,5 + \beta) \cdot A \cdot f_{cc} =$$

$$\beta = \frac{48 \cdot 100}{90 \cdot 100} = 0,53 > 0,5 \Rightarrow 0,5$$

$$F_{R2} = (0,5 + 0,5) \cdot 60 \cdot 150 \cdot 17,6 = \underline{\underline{158 \text{kN}}}$$

$$F_{\max} = F_{R2} = 158 \text{kN}$$

Bilaga F – Pelaranslutning

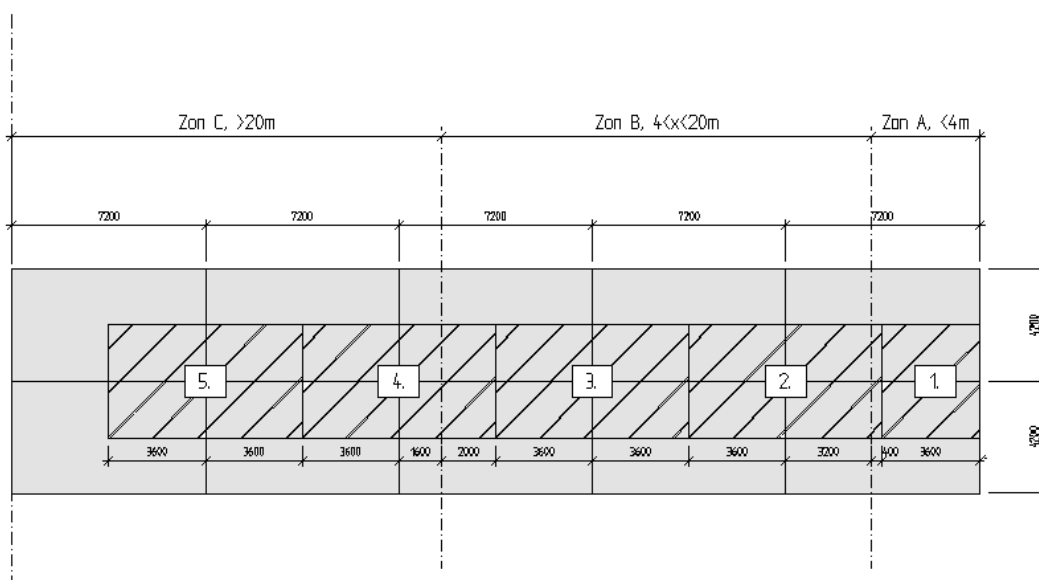
Infästningarna beräknas på de största elementet på 7,2 x 4,2 meter och byggnaden antas vara 20x40 meter med en höjd på 15 meter.

TT II

$V_{ref} = 26 \text{ m/s}$

$q_k = 1,02 \text{ kN/m}^2$

Infästningarna beräknas i tre olika fall beroende på de olika koefficienterna vid randzonsberäkning enligt Snö o Vindlast. Det innebär att ju närmare hörnet infästningen sitter desto högre formfaktor beräknas vindlasten med.



Figur 66 - Beräkning av vindlastens påverkan nära hörnen av byggnaden.

Zon A $\mu = 1,05$ $0 \leq x < 4$ meter från hörnet

Zon B $\mu = 0,70$ $4 \leq x \leq 20$ meter från hörnet

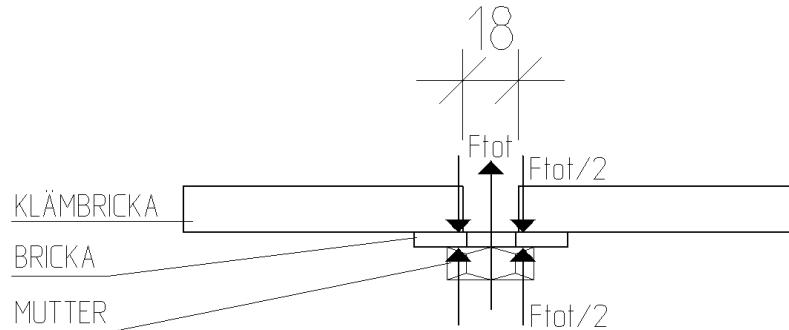
Zon C $\mu = 0,40$ ≥ 20 meter från hörnet

En beräkning av ytorna och med hänsyn till randzonerna ger den infästningen med den maximala kraften i infästningen.

- Första infästningen $3,6 \cdot zonA = 3,6 \cdot 1,05 = 3,78$
- Andra infästningen $0,4 \cdot zonA + (3,6 + 3,2) \cdot zonB = 0,4 \cdot 1,05 + (3,6 + 3,2) \cdot 0,7 = 5,86$
- Tredje infästningen $(3,6 + 3,6) \cdot zonB = (3,6 + 3,6) \cdot 0,7 = 5,36$
- Fjärde infästningen $2 \cdot zonB + (1,6 + 3,6) \cdot zonC = 2 \cdot 0,7 + (1,6 + 3,6) \cdot 0,4 = 3,48$
- Femte infästningen $(3,6 + 3,6) \cdot zonC = (3,6 + 3,6) \cdot 0,4 = 2,88$

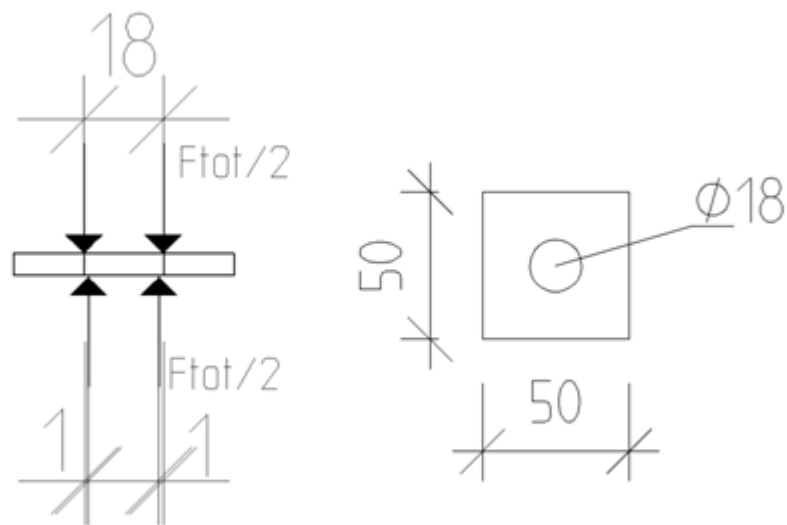
Vilket ger en dimensionerande last på

$$F_{tot} = 5,86 \cdot h \cdot q_k \cdot 1,3 = 5,86 \cdot 4,2 \cdot 1,02 \cdot 1,3 = \underline{\underline{32,6kN}}$$



Figur 67 - Krafterna som påverkar brickorna till infästning av elementet mot stommen.

För att bestämma storlek på bricka och klämbricka beräknas ett kraftspel mellan den totala lasten från väggelementets infästning med hänsyn till de olika randzonerna (enligt Snö och Vindlast 1997). Vid brickans placering beräknas en excentricitet på 1 mm i förhållande till klämbrickans hål.



Figur 68 - Kraften som påverkar den lilla brickan.

Bricka

Tjockleken på brickan beräknas enligt följande:

$$M = \frac{F_{tot}}{2} \cdot 0,001 = \frac{32,6}{2} \cdot 0,001 = 0,016kN$$

$$b = 50 - 18 = 32mm$$

$$f_{yd} = 214MPa \quad (Sk2 \quad S235)$$

$$W = \frac{bh^2}{6}$$

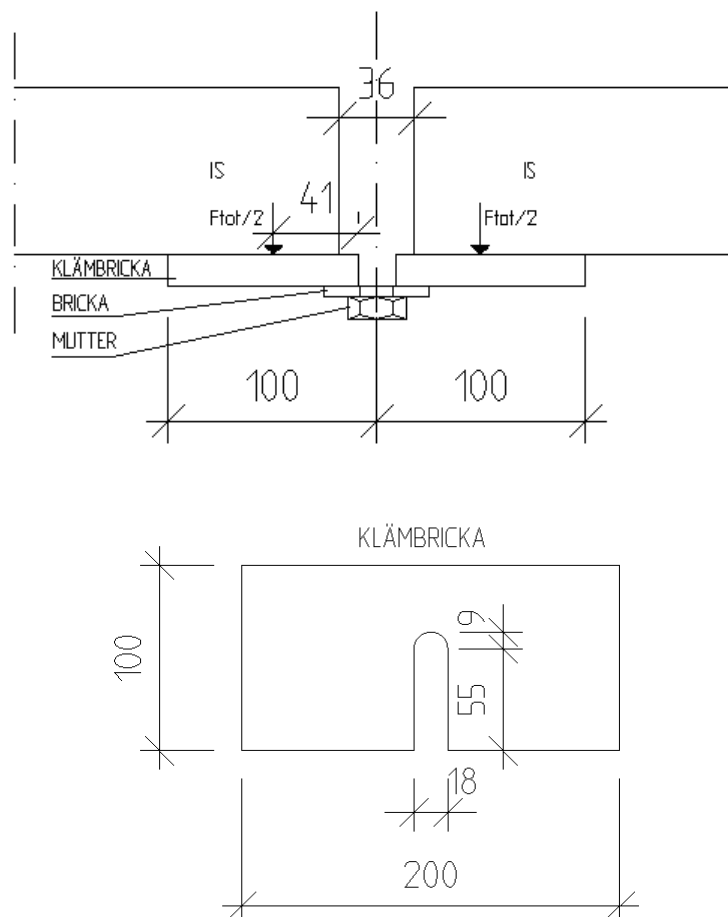
$$\sigma = \frac{M}{W} \Rightarrow W = \frac{M}{\sigma} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{6M}{b\sigma}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 0,016 \cdot 10^3}{32 \cdot 10^{-3} \cdot 214 \cdot 10^6}} = 3,7mm < 5mm$$

b= bredden på plattan (utan hål)

Brickans storlek blir 50x50x5 mm

Toleranser: Brickan är beräknad att kunna hamna snett med 3 mm vilket är ok!

Klämbrickan:



Figur 69 - Klämbrickan beräknas enligt modell ovan

$$M = \frac{F_{tot}}{2} \cdot 0,041 = \frac{32,6}{2} \cdot 0,041 = 0,67kNm$$

$$W = \frac{bh^2}{6}$$

$$b = 36mm$$

$$f_{yd} = 314MPa \quad (Sk2 \quad S355)$$

$$t = \sqrt{\frac{6M}{b\sigma}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 0,67 \cdot 10^3}{36 \cdot 10^{-3} \cdot 314 \cdot 10^6}} = 19,5mm < 20mm$$

Klämbrickans storlek blir 200x100x20mm

Ovanstående klämbricka är baserad på max elementstorlek samt max vindlast enligt denna standard. Vid alternativa fall kan annan tjocklek väljas.

