




Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Konstruksjonar og Materialer, Byggkonstruksjonar	Vår.....semesteret, 20.16. Åpen / Konfidensiell
Forfatter: Ole Garborg Østrem	 (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Kjell Tore Fosså Veileder(e): Terje Skårland	
Tittel på masteroppgaven: Engelsk tittel:	Samvirke mellom yttersjikt og innersjikt i sandwichelement med ikkje-metalliske sjiktforbinderar Composite action between inner and outer wythe in sandwichelements using non metallic connectors
Studiepoeng: 30SP	
Emneord: Betong, sandwichelement, samvirke, fiber, sjiktforbinder,	Sidetail: .75..... + vedlegg/annet: .15..... Stavanger, .23/6.-.16..... dato/år

Samandrag

I denne oppgåva er det testa ut ståande slanke veggelement armert med basaltfiber i yttersjiktet. Betongsjikta er forbundne med ein type sjiktforbinderar av glasfiber som hittil har vore i lite bruk i Noreg, men som i stor grad blir nytta i blant anna USA. Elementa er samanlikna med eit referanseelement med eit yttersjikt armert med ei K189 armeringsmatte og kor det er nytta vanlige PDM-sjiktforbinderar. Målet var å finne momentkapasiteten og dermed kor store vindlaster elementa kan ta opp før dei rissar samt kor stor grad av samvirke desse nye sjiktforbinderane gir.

Forutan dei praktiske forsøka er det også laga MN-diagram med tilhøyrande berekningar for å finne den teoretiske makskapasiteten til elementa. Det er også blitt rekna på korleis momentet har fordelt seg gitt at elementet er utan aksialbelastning. I denne berekninga er det samanlikna kor store spenningar elementa fekk gitt at dei er utan samvirke og gitt at dei har fullt samvirke. Til slutt er dei faktiske resultatane samanlikna med dei teoretiske kapasitetane.

Forsøka gav varierande resultat. Ettersom elementa av praktiske årsakar blei testa liggande medan dei i verkeleg bruk vil bli belasta ståande er det også vanskeleg avgjer kor sikre resultatane er. Elementa var belasta med ei aksialkraft i innersjiktet medan momentkrafta blei påført. Under forsøka blei det målt nedbøying og kor stor avstand det var mellom dei ytste rissa i yttersjiktet. Det er også tatt trykkprøvar av begge sjikta for alle elementa.

Utifrå resultatane ser det ut til at referanseelementet er det sterkaste, men at det eine fiberarmerte elementet også er sterkt nok til å bli nytta i verkelege bygg. Graden av samvirke ser ut til å vera nokså lik uavhengig av type sjiktforbindar så lenge isolasjonssjiktet er likt. Det var likevel vanskeleg å måle. Fiberarmert betong har lågare restkapasitet enn eit betongsjikt med ei armeringsmatte har. Det kan samstundes sjå ut til at fiberarmert betong har høgare strekkstyrke enn vanlig betong.

Innhald

Samandrag.....	1
Forord.....	4
Innleiing.....	5
Teori.....	6
Veggelement	6
Avstivingssystem	8
Innspente/utkraga.....	8
Rammeverk.....	8
Skivebygg.....	8
Bokssystem.....	8
Samvirke	10
Sjiktforbinderar	13
Analyse av sandwichelement	16
MN-diagram	18
Eksperimentelt	46
Hensikt.....	46
Produksjonen.....	46
Utføring	48
Resultat.....	49
1250.....	50
1220.....	52
1180.....	54
Reint bøyemoment.....	56
Diskusjon	71
Utføring av forsøka.....	71
Samvirke	71
Fiberbetong	72
Elementa.....	73
Konklusjon	74
Referansar	75
Vedlegg.....	76
Blanderapportar	76
Elementteikningar	85

1250.....	85
1220.....	86
1180.....	87
Plassering av CC sjiktforbinderar	88
Bilete frå produksjonen	89

Forord

Denne oppgåva er eit resultat av ei satsing på fiberarmert betong hjå Block Berge Bygg. Det starta forsiktig med ei bacheloroppgåve i 2014 om basaltfiber i veggelement skrivet av meg og blei vidareført med ei masteroppgåve om den same basaltfiberen av min kollega Jørn Eirik Espedal året etter. Denne oppgåva er derfor eit resultat og ei vidareføring av denne satsinga gjennom desse åra og byggar dermed vidare på heilt ny forskning utført her hjå Block Berge Bygg samstundes som ho tar eit steg vidare over til fullskala element. Utan dei enorme ressursane Block Berge har stilt opp med og deira ønskje om å få dette til hadde det ikkje latt seg gjera. Eg har hat eit stort apparat med dyktige fagfolk med meg gjennom heile prosessen og vil gjerne takke dei for deira forståing, innsats og velvilje. Eg veit at ikkje alle meiner at dette er noko å satse på, men dei bidrar og hjelper til likevel. Det har derfor vore ei stor glede å skrive og utføre denne oppgåva for Block Berge. Det har vore gøy og hjulpet meg mykje å få jobbe for Block Berge dei siste tri åra av studietida mi, både det første halvanna året med produksjon av veggelement ute i fabrikk og den siste tida som LEAN-koordinator m.m. inne på kontoret. Eg har lært mykje innan ingeniørfagfeltet, men også mykje innan handverkarområdet, noko eg trur dei færraste ingeniørstudentar kan seie.

Eg vil rette ein takk til faglæraren min på UiS, Kjell Tore Fosså, som har stått klar til å hjelpe til der det trengs og rådgivet meg når eg hadde behov for det. Det skal også rettast ein takk til Irene Pollestad i Block Berge som har brukt mykje av tida si på å lage profesjonelle teikningar av elementa. Til Bjørn Stian Sjursen, Jørn Eirik Espedal og Nils Aadne Sinnes må eg også seie takk for å ha svart på alt eg lurar på av berekningar. Vidare er det mange andre i Block Berge, blant anna Eyvind Time, Håvard Aase og Jan Erik Aunevik, som har bidratt med sitt for å få dette til å fungere og bli fullført. Ein stor takk til alle saman.

Eg må likevel få utdele ein ekstra stor takk til Harald Kuven, veteranen i Block Berge Bygg, som har vore med meg gjennom alt det praktiske og fått alt til å virke enkelt. Dette hadde ikkje gått utan han. Ein ekstra stor takk må eg også gi til Terje Skårland som gav meg denne oppgåva og som har fungert som vegleiar her i Block Berge.

Det har blitt nokre lange dagar og seine kveldar med lesing, berekningar, teikning og skrivning. Det har også blitt ein god del sveittedråpar og litt småsår ettersom eg i stor grad har vore med på å armere, støype og produsere alle elementa sjølv samt utført testane. Det har absolutt vore vert det og eg håpar at resultatata frå dette arbeidet fører vidare til noko og at me snart kan sjå denne typen veggelement i bruk i byggverk.

Innleiing

For å kunne vere konkurransedyktig i betongelementmarknaden må ein stadig utvikle og forbetre seg. Denne oppgåva går ut på nettopp det: utvikle og forbetre eit produkt. Produktet er eit ståande slankt veggelement til bruk i bygg med store opne rom på éin etasje som lagerhallar og jordbruksbygg. Veggelementet består til vanlig av eit 70mm innersjikt av betong, 100mm-200mm isolasjon og eit 80mm yttersjikt av betong. Begge sjikta er armert med armeringsjern og dei er forbundne med metalliske sjiktforbinderar. I denne oppgåva er det forsøkt å endre dette veggelementet sånn at det består av eit 50mm fiberarmert yttersjikt, 60mm-100mm isolasjon og eit 70mm innersjikt. I tillegg er dei metalliske sjiktforbinderane erstatta med sjiktforbinderar av glasfiber.

Fordelane med desse endringane er at det blir brukt mindre betong for kvart element og at kuldebruene gjennom sjiktforbinderane blir reduserte. Mindre betong betyr mindre utslepp. Dette kjem som ein direkte konsekvens av mindre betongproduksjon, men også indirekte av at ein kan lesse fleire element på kvart transportlass og at desse lassa veger mindre per element som fører til mindre transportutslepp for eit ferdig bygg. Sjiktforbinderar med minimal kuldebru gir mindre varmetap og dermed vil ein konstruksjon bygd med desse elementa krevje mindre oppvarming og dermed forbruke mindre energi. Som ein konsekvens av at elementet er tynnare og lettare vil forhåpentlegvis dette lette montasjedelen og gjer at dette arbeidet kan utførast fortare. Dette vil igjen gjer prosjektet billigare og meir konkurransedyktig.

I denne oppgåva er de støypt element i full storleik. Momentkapasiteten er testa for å sjå om elementa har tilstrekkeleg kapasitet til å ta dei vindlastene som vil kunne oppstå. For at dette skal vere mogleg bør det vera godt samvirke mellom sjikta. Under forsøka er elementa belasta med ei aksiallast som svarar til lasta frå eit snødekt tak.

Oppgåva startar med ein teoridel kor det blir gjort ei innføring i kva eit veggelement er, kva samvirke er, korleis sjiktforbinderar verkar og kva slags type avstivingsssystem dei aktuelle veggelementa ofte blir nytta til. Deretter kjem ein analysedel som forklarar litt om korleis ein kan analysere eit sandwichelement og finne ut kor store belastningar dei kan bli utsett for. Denne delen blir avslutta med ein forholdsvis omfattande MN-analyse. Så kjem den eksperimentelle delen med produksjon og testing etterfølgt av resultatata og fleire berekningar basert på desse resultatata. Til slutt blir forsøket og resultatata diskutert og oppsummert i ein konklusjon.

Teori

Veggelement

Eit veggelement av betong kan enten vera ein kompakt vegg eller eit isolert element, eit såkalla sandwichelement. Veggane kan vera påkledningselement med få eller ingen strukturelle og konstruktive eigenskapar eller det kan vera innstøypte søyler og bjelkar inne i veggane som gir dei store strukturelle og konstruktive eigenskapar. I eit sandwichelement vil som regel innersjiktet vera det bærande sjiktet og det er her søylene og bjelkane vil bli støypt inn. Yttersjiktet er ofte berre til stade for å beskytte isolasjonen og sjå fint ut. Det finnes likevel sandwichveggar kor innersjiktet er såpass tynt at også yttersjiktet må vera med på å ta opp kreftene. I sånne tilfelle er det vind og andre horisontallastar det er snakk om. Vertikallastene går nesten alltid berre gjennom innersjiktet. For at ein strukturell sandwichvegg med både tynt innersjikt og tynt yttersjikt skal kunne tåle kreftene som bli påført er det nødvendig med søylesoner i innersjiktet. Desse sonene blir det laga plass til ved å redusere tjukkelen på isolasjonen. Eit element med både tynt innersjikt og tynt yttersjikt kan dermed vera rimeleg sterk likevel dersom det er plass til kraftige søylesoner. I nokre element er det ikkje plass til så tjukke søyler. For at desse skal tåle belastningane som blir påført er det viktig at begge sjikta jobbar i lag. Dette bli kalla for samvirke. For å oppnå mest mogleg samvirke er det nødvendig å bruke sjiktforbinderar. Alle sandwichelement må bruke sjiktforbinderar, men nokre gir meir samvirke enn andre og desto nærmare dei står kvarandre desto større grad av samvirke blir oppnådd.

I denne oppgåva skal ein type sandwichelement av nettopp denne typen vidareutviklast. Elementet er eit ståande veggelement som frå før av består av eit 70mm innersjikt, 100mm – 200mm isolasjon og eit 80mm yttersjikt. Ytter- og innersjikta er originalt sett kopla i saman med



Bilete 1 – Typisk søylesone i eit element. Resten av innersjiktet er tynt.

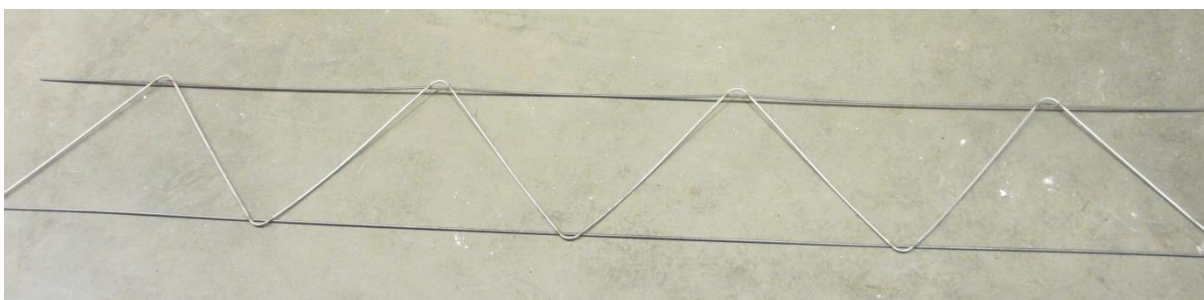


Bilete 2 – Søylesona i eit av elementa nytta i denne oppgåva



Bilete 3 – Søylesone på eit av dei ferdige elementa.

metalliske sjiktforbinderar av typen PDM forbindelsesstigar. Innersjiktet er armert med randarmering og ei armeringsmatte. Yttersjiktet er også armert med ei armeringsmatte og randarmering. Høgda kan kome heilt opptil 12 meter og breidda ligg ofte mellom 1,5 – 3 meter. Dette gjeld oftast for elementa til bruk på kortsidene til bygget. Elementa til bruk på langsidene i byggverket er ofte lågare og dermed også noko breiare, gjerne 6 meter. Dette gir ei vekt per element på opptil 15 tonn, altså kan dei bli svært store, tunge og uhamslige med tanke på transport, løft og montasje.



Bilete 4 – PDM-sjiktforbindar

Vanlig bruk av denne typen vegg er i store hallar som fjøs, hønsehus, lagerbygg, produksjonshallar og liknande som treng store opne rom og berre skal vera éin etasje. Denne typen bygg gir små vertikale laster og derfor er det mogleg å nytte desse veggelementa med relativt tynne bærande innersjikt. Det er derimot store areal i denne typen bygg og vindlast vil derfor forårsake store belastningar. Derfor er det viktig at kreftene blir overført enten til eit rammeverk eller til veggane som går parallelt med vindretninga. Taket i denne typen bygg blir sett på som ei stiv plate og vil dermed vera med på å overføre kreftene direkte til veggane.

Byggverk av denne typen kan vera stivt av med eit rammesystem, men er oftast stivt av med å bruke veggane som eit skivesystem og betrakte taket som ei stiv plate. Etersom alle veggane er med på å stive av bygget blir det eit såkalla bokssystem. Ideelt sett har bygget ein breidde på 18-24 meter [1] og eit lengde breidde forhold på opptil 3:1 som gir ei typisk lengd mellom 54 og 72 meter. Dette er avhengig av dimensjonerande vindlastar og det er mogleg å få til bygg som er både større og har høgare lengde breidde forhold.

Avstivingsystem

Det finnes i grove trekk tri typar avstivingsystem: innspenning/utkraging, rammeverk og skivesystem. Det finnes sjølvsagt underkategoriar av desse og fleire kombinasjonsmoglegheiter.

Innspenning/utkraga

Innspenning/utkraga konstruksjonar er også eit rammeverk, men dei er ikkje momentstive i knutepunkta. Eit rammeverk er etter nemninga momentstivt i knutepunkta. Utkraga system består av søyler som er innspente til fundamentet og bjelkar som ligg fritt opplagt på utkragingane til bjelkane. Frå bjelke til bjelke ligg det dekkar som blir sitt på som uendeleg stive. Denne typen bygg er vanlig i industribygg opptil nokre etasjar høgt. Etter kvart som bygget blir svært høgt vil søyledimensjonane i botnen bli svært store og utbøyingane i toppen også bli store.

Rammeverk

I eit rammeverk er som nemnt knutepunkt momentstive. Dette kan bli oppnådd ved armering, boltar, sveiste stålplater eller ved at elementa er prefabrikkerte på ein måte som gjer at knutepunkta mellom bjelke og søyle er momentstivt. Dei faktiske knutepunkta, der element og element knyttes saman, kan bli lagt der det er lite på kjenningar. Denne momentstivheita mellom bjelkar og søyler avgrensar oppleggsrotasjonen, stabiliserer rammene og reduserer momentet i fundamentet. Denne typen bygg fungerer godt på fleir-etajars bygg, men det kan oppstå kompliserte knutepunkt. Prefabrikkerte element unngår desse kompliserte knutepunkta, men transport av sånne element kan være krevjande.

Skivebygg

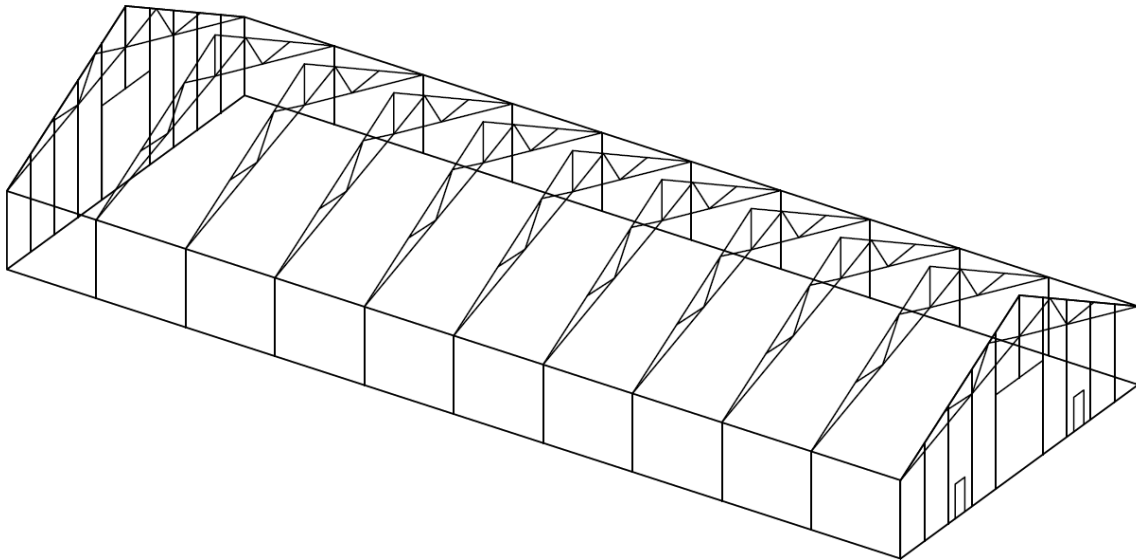
I skivebygg er det skivene som stiver av bygget ved å ta opp dei horisontale kreftene. Desse skivene er ofte ei heissjakt, trapperom eller berre skivevegger. Det blir også sett på som eit skive bygg dersom det er stivt av med fagverk mellom søylene. Det er vanlig at desse avstivande delane er prefabrikkerte. Det regnes teoretisk med at søylene i sånne bygg er leddlagra både ved fundamentet og mellom etasjane. På grunn av dette blir dekkene sett på som stive skiver. Denne typen bygg er den mest aktuelle for dei aller høgaste bygga. Ein spesiell variant av skivebygget er bokssystemet. Det er denne typen som er aktuell for elementet som blir utvikla i denne oppgåva.

Bokssystem

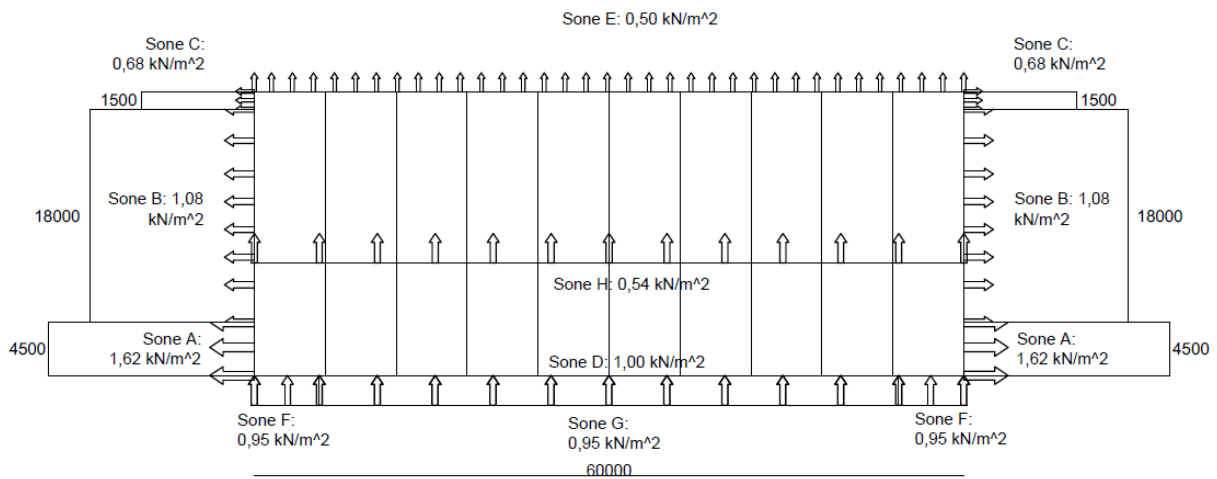
Eit bokssystem er som nemnt ein form for skivesystem. Det som skiljar det litt ut er at her er alle veggane avstivande skiver. Horisontallastene blir fordelt utover dei veggane som står parallelt med kraftretninga. Det er heller ikkje alltid nødvendig med søyler og bjelkar i det heile tatt, utanom takstolar eller liknande til å bære taket. Taket blir sett på som ei stiv skive. Denne typen bygg blir brukt til lagerhallar, industribygg, landbruksbygg og andre bygg som krevjar store opne rom og som ikkje treng meir enn éin etasje. Det er altså ikkje egna til kontorbygg, leilegheiter og liknande kor det er ønskjeleg med fleire etasjar. Desse bygga kan bli svært store i areal så lenge lengde/breidde forholdet ikkje overstig $L/B = 3$. Dersom dette forholdet blir større, altså bygget blir veldig langt, kan det bli nødvendig med meir omfattande festedetaljer mellom vegg og fundament. Det kan også bli aktuelt med innvendig tverravstivande veggjar. Alt dette er i stor grad avhengig av dei horisontale kreftene som ofte vil være vinden. Veggelementa i denne oppgåva blir ofte nytta i byggverk med

bokssystem som avstivningssystem. Her er det tynne, høge ståande sandwichelement godt egna ettersom det er ønskjeleg med store opne rom samstundes som dei vertikale lastene er små.

I eit tenkt tilfelle med eit bygg på 60*24 meter vil dei største vindlastene bli forårsaka av sug. Gitt at dette bygget står i Klepp kommune, strekker seg 10m over bakkenivå og ligg i opent terreng vil det sannsynlegvis bli dimensjonert for ei vindkraft på $1,35\text{kN/m}^2$.¹ Som vist på figur 2 blir dei horisontale kreftene som verkar på dei høgaste veggane $1,08\text{kN/m}^2$.

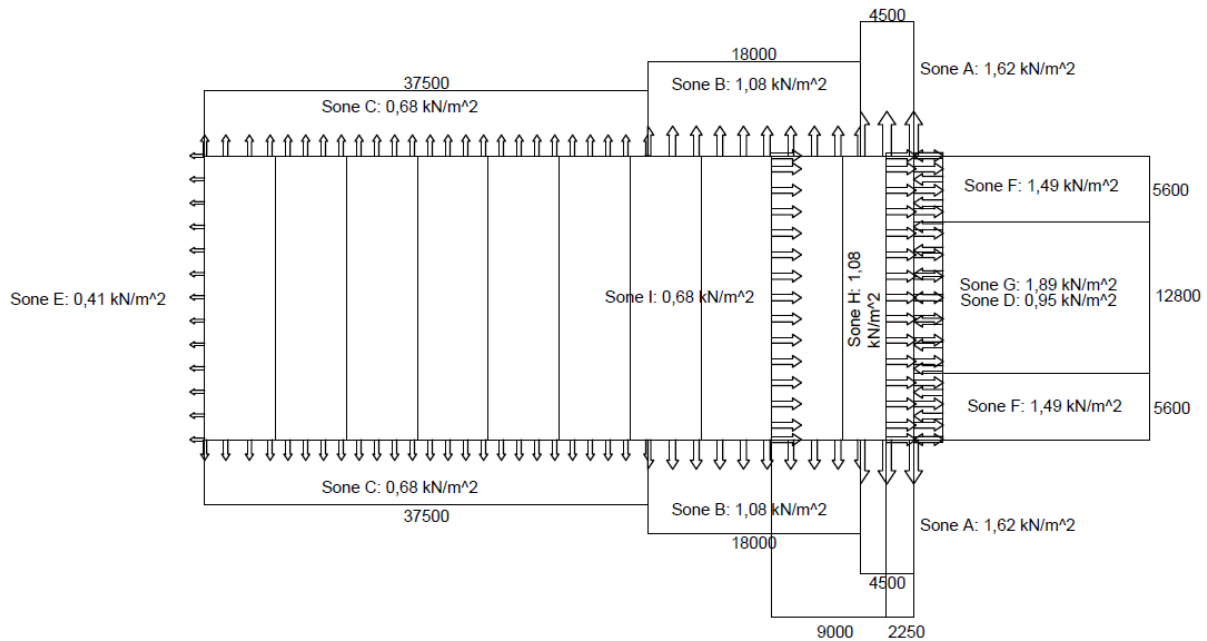


Figur 1: Eit tenkt bygg kor elementa i denne oppgåva kan vera aktuelle. Her ville dei stått på kortsida ved porten.



Figur 2: Vindlaster når vinden treff langsida og er på $1,35\text{kN/m}^2$. Elementa i denne oppgåva ville her blitt utsett for ei kraft på $1,08\text{kN/m}^2$

¹ Disse verdiane er berekna utifrå NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009 tillegg V.



Figur 3: Vindlaster når vinden treff kortsida og er på $1,35\text{kN/m}^2$. Elementa i denne oppgåva ville her blitt utsett for ei kraft på $0,95\text{kN/m}^2$

Samvirke

Veggelement blir analysert som enten med samvirke, utan samvirke eller med ein viss grad av samvirke. Ein vegg med fullt samvirke vil ha tilnærma same styrke og stivheit som ein kompakt vegg av same tjukkeleik. Ein vegg utan samvirke vil ha tilnærma lik styrke og stivheit som den totale tjukkeleiken til begge betongsjiktta i veggen. Ein vegg med delvis samvirke vil dermed ha større stivheit og styrke enn ein vegg utan samvirke, men mindre enn ein vegg med fullt samvirke.

I ein vegg utan samvirke vil ein ofte anta at berre eit sjikt, ofte innersjiktet, er bærande, medan det andre berre er der for estetikken sin del og for å beskytte isolasjonen. Det er innersjiktet som bærer alle dei vertikale lastene og som tar opp eventuelle seismiske laster og ande store horisontale laster. Vindlastene blir vanlegvis tatt opp i yttersjiktet og overført til innersjiktet. Korleis dei blir overførte og kor tidlig det skjer, altså kor mykje yttersjiktet bøyar seg før kreftene blir overført, er avhengig av graden av samvirke. Dersom veggen er heilt utan samvirke vil yttersjiktet bøye seg forholdsvis mykje før kreftene blir overført. Når dei først blir overført blir dei som ei jamt fordelt last på innersjiktet. Innersjiktet er derfor tjukkare enn yttersjiktet. Typiske dimensjonar er 200mm for innersjiktet og 80mm for yttersjiktet. Det finnes unntak kor begge sjiktta er tilnærma like tjukke. Dette gjeld gjerne låge veggjar og her blir dei horisontale lastene jamt fordelt på sjiktta etter kor stive sjiktta er. Veggen er framleis utan samvirke og begge sjiktta kan derfor analyserast separat som enkle kompakte veggjar.

For veggjar med fullt samvirke og delvis samvirke antar man at alle lastene fordeler seg jamt gjennom tverrsnittet. Horisontale, aksiale og temperaturlaster skapar spenningar i sjiktforbinderane som overfører kreftene mellom sjiktta. I tillegg kjem moment, skjær og aksialspenningar i sjiktta som

også blir overført. Ettersom sjikta i ein vegg med samvirke er avhengig av kvarandre blir analysen av ein sånn type vegg meir komplisert, men så lenge ein antar at det er fullt samvirke lar det seg greitt gjera. Samvirke i eit sandwichelement blir dermed eit samarbeid mellom yttersjiktet og innersjiktet. I praksis er det ofte vindkreftene som verkar på det eine sjiktet og blir overført til det andre sjiktet som i størst grad utnyttar samvirke. I tilfelle med jordskjelv vil også dette utnytte samvirket. Uavhengig av om det er samvirke eller ikkje vil dei vertikale kreftene på yttersjiktet bli overført til innersjiktet og vertikalkreftene som verkar på innersjiktet vil berre gå gjennom innersjiktet og ned i fundamentet eller det som veggen står på. Det finnes unntak kor yttersjiktet bærer aksiallastene, men dette er sjeldan.

Denne overføringa av krefter skjer hovudsakleg gjennom sjiktforbinderane. Dei er altså i stor grad med på å bestemme graden av samvirke. Type sjiktforbindar, kor lange dei er og kor tett dei står er avgjerande faktorar for kor stor grad av samvirke ein kan oppnå. Indirekte er dermed også tjukkheiken på isolasjonen med å bestemme kor bra samvirke blir, men dette er fordi tjukkare isolasjon gir lengre sjiktforbinderar. Heft mellom betongen og isolasjonen er også med på å styrke samvirke. Dersom ein ønskjer å kome så nære fullt samvirke som mogleg kan ein også legge til soner i veggen kor betongen er gjennomgåande. Gjennomgåande betong blir som ein kompakt vegg og har derfor fullt samvirke. Det vil likevel være sånn at områda mellom desse gjennomgåande sonene ikkje vil oppnå fullt samvirke og veggen i sin heilhet har dermed berre delvis samvirke.

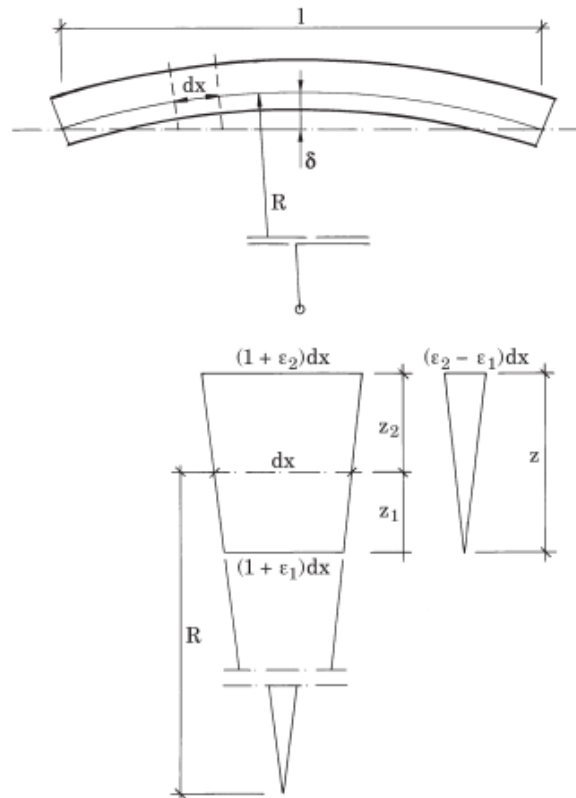
Det har vore vanlig å bruke ein type sjiktforbinder som heiter PDM-forbindelsesstigar, også kalla for bare stige. Desse verkar som eit bindingsverk mellom sjikta og gjer at heile veggen kan bli sett på som ein stålbejelke kor betongsjikta er flensane og sjiktforbindaren er steget. Når diagonalane i desse stigane står tett nok og stigane også står med liten avstand mellom kvarandre (maks 600mm) [2] blir graden av samvirke relativt stor. Stigane er ofte metalliske, men finnes også i glasfiber. Andre typar sjiktforbinderar som bøylar og anker finnes også, men desse gir mindre grad av samvirke. Nyleg har det derimot blitt tatt i bruk ein type sjiktforbinderar av glasfiber som minner meir om ein rett pinne som går vinkelrett eller på skrå gjennom isolasjonen frå betongsjikt til betongsjikt. Nokre av desse har også vist seg å kunne skape ein viss grad av samvirke og det er desse som skal testast ut i denne oppgåva.

Sjiktforbinderar kan overføre vertikale laster, horisontale laster eller begge deler. Dei overfører både moment-, skjær- og aksialkrefter og fordelar desse jamt mellom yttersjikt og innersjikt utifrå stivheita og grada av samvirke. Dette førar også til at kreftene blir mindre i kvart sjikt enn kva det ville blitt dersom det ikkje var samvirke og alle kreftene dermed hadde blitt tatt opp i eitt sjikt. Ei enkel samanlikning kan gis ved å sjå på eit veggelement med skjærnøklar med kraftoverføring til to søyler. Ein skjærnøkkle kan for eksempel vera gjennomgåande betong. Ved å anta at veggen er fritt opplagt ved kvar søyle kan me sjå på veggen som ein bejelke. Den vanlige formelen for maksimalt moment for ein fritt opplagt bejelke med jamt fordelt last, som er tilfellet med vind, er $q \cdot l^2 / 8$. Med bruk av fullt samvirke, som er tilfellet med skjærnøkkle, endrar formelen seg til $q \cdot l^2 / 32$ [3]. Momentkreftene blir 25% av kva det ville vore utan samvirke. For skjærkreftene sin del er dei $q \cdot l / 2$ for vanlege bejelkar og $q \cdot l / 4$ for kvart sjikt i ein vegg med samvirke.

Det er i praksis ikkje mogleg å oppnå verken fullt samvirke eller null grad av samvirke ettersom fullt samvirke vil seie at isolasjonssjiktet har same stivhet som betongen og null samvirke betyr at det stivheten til isolasjonen og sjiktforbinderane er null, noko som berre er tilfellet for luft. Dei fleste formlar, utrekningar og framgangsmetodar blir dermed berre vegleiane. Det vil derfor ofte bli nødvendig å samanlikne teoretiske resultat frå utrekningar med ikkje-samvirke med resultat frå utrekningar med samvirke og plassere seg ein stad i mellom. Dette er viktig blant anna når ein ser

på krumming ettersom samvirke vil auke dette. Ved å betrakte eit element med konstant tverrsnitt, små deformasjonar og vilkårleg tverrsnitt og materialeigenskapar kan ein rekna seg fram til kor mykje krumming elementet vil få. Denne krumminga er ein følgje av langtidseffekter som svinn og temperaturendringar. (Følgjande formel og utledning er tatt i frå Betongelementboken bind C 2013)

- $1/R = (\epsilon_2 - \epsilon_1)/z = \Delta\epsilon/z$
- $\delta = l^2/8R = l^2 * (\epsilon_2 - \epsilon_1)/8z = l^2 \Delta\epsilon/8z$
- R er krummingsradius, konstant
- $1/R$ er krumminga
- δ er utbøyinga
- ϵ_1 og ϵ_2 er tøyning i avstand z_1 og z_2 frå nøytralaksa
- $\Delta\epsilon$ er $\epsilon_2 - \epsilon_1$ som er tøyingsdifferansen
- $z_1 + z_2$ er avstanden mellom nivåa med tøyning ϵ_1 og ϵ_2 , altså avstanden mellom midten av sjikta



Figur 4: Utbøyning forårsaka av temperaturar, svinn o.l.

Tøyingsdifferansen $\Delta\epsilon$ er eit produkt av ein faktor, k_1 , som kjem av graden av samvirke og faktoren $\Delta\epsilon^*$ som har med drivkrafta å gjer. Verdien for denne drivkrafta er usikker men er avhengig av korleis elementet er støypt og kor mykje vær og vind det skal utsettast for. Den blir i dette eksempelet satt til å vera 1. Faktoren k_1 er 0,8 for element armert for samvirke, 1,0 for element med fullt samvirke og 0,6-0,3 for element lagt for å unngå samvirke.

For eit element med ei lengd på 5 meter og ein avstand mellom senter av sjikta på 115mm får me følgjande resultat for høvesvis $k_1 = 1,0, 0,8, \text{ og } 0,3$:

$$5000^2 * 1/8 * 115 = 27\text{mm} \quad 5000^2 * 0,8/8 * 115 = 22\text{mm} \quad 5000^2 * 0,3/8 * 115 = 8\text{mm}$$

For eit svært langt element på 10m får me tilsvarande:

$$10000^2 * 1/8 * 115 = 109\text{mm} \quad 10000^2 * 0,8/8 * 115 = 87\text{mm} \quad 10000^2 * 0,3/8 * 115 = 33\text{mm}$$

Me ser at utbøyinga aukar drastisk ved lange element og også ein god del med samvirke. Nå har det vist seg av erfaring at lange element ikkje får fullt så mykje utbøyning som formlane skulle tilseie. Det er også fleire andre faktorar som avgjer krumminga til ein vegg, men det blir ikkje tatt opp her.

Isolasjonen mellom betongsjikta er også med på å avgjer graden av samvirke. Grovt sett kan ein seie at låg trykkstyrke og høg stivhet gir meir samvirke. Dette betyr at isolasjonen må ha lite tøyning og små deformasjonar dersom ein skal oppnå samvirke. Ein kan sjå på det sånn at dersom stivheten til isolasjonen går mot uendelig liten vil det til slutt vera som om det ikkje er noko isolasjon

der i det heile tatt. Dette vil føre til at isolasjonen sitt bidrag til samvirke er lik null. I den andre enden, dersom stivheten til isolasjonen går mot stivheten til betongen, vil det til slutt bli fullt samvirke ettersom veggen kan bli sitt på som kompakt.

Det er fleire fordelar og ulemper med å velje samvirke. Derfor må det vurderast om fordelane er så ønskjelege at ein nærmast må ha dei og om ulempene kan godtas. Fordelane er at både nødvendig betongmengd og armeringsmengd blir redusert, noko som igjen vil gi eit billigare, lettare, slankare og meir miljøvennlig (i produksjonssamanheng) element. At elementet er lettare og slankare kan forenkle montasjedelen og auke talet element som kan bli transportert på eit lass. Dette vil igjen føre til at bygget kan reise seg raskare og stå ferdig tidligare. Tynne element vil også gi større areal inne i tilfelle kor elementa skal stå på yttergrensa av tomta.

På den andre sida vil element med samvirke ha større krumming og større varmegjennomgang. Krumminga kjem av at dersom eitt sjikt krummar seg vil denne krumminga bli overført til heile veggen og dermed vil, innlysande nok, heile veggen krumme seg. I veggjar utan samvirke vil berre eit sjikt, ofte yttersjiktet, krumme seg og veggen i sin heilhet vil stå strak. Varmegjennomgangen kjem blant anna av at det krev fleire sjiktforbinderar for å oppnå samvirke. Sjiktforbinderane har, spesielt dersom dei er metalliske, høgare varmegjennomgang enn isolasjonen og desto fleire sjiktforbinderar det er desto større vil den totale varmegjennomgangen bli.

	Samvirke	Ikkje samvirke
Armeringsforbruk	Mindre	Større
Stivhet	Større	Mindre
Håndterbarhet	Betre	Dårligare
Krumming	Større	Mindre
Varmegjennomgang	Større	Mindre

Tabell 1: Fordelar og ulemper med samvirke

Sjiktforbinderar

Sjiktforbinderar kjem i mange fasongar og med ulike eigenskapar. Dei vanlegaste er laga av metall, ofte rustfritt stål, men dei finnes også i andre materialar, for eksempel glasfiber. Hovudoppgåva er å overføre krefter frå yttersjiktet til innersjiktet, men i veggjar med stor grad av samvirke vil det også gå andre vegen, altså frå innersjiktet til yttersjiktet. Utan sjiktforbinderar hadde det vore fare for at yttersjiktet ville falt av og dratt med seg store delar av isolasjonen. Sjiktforbinderane kan overføre vertikale krefter, horisontale krefter eller begge delar alt etter kva type det er. Likt som med alt anna



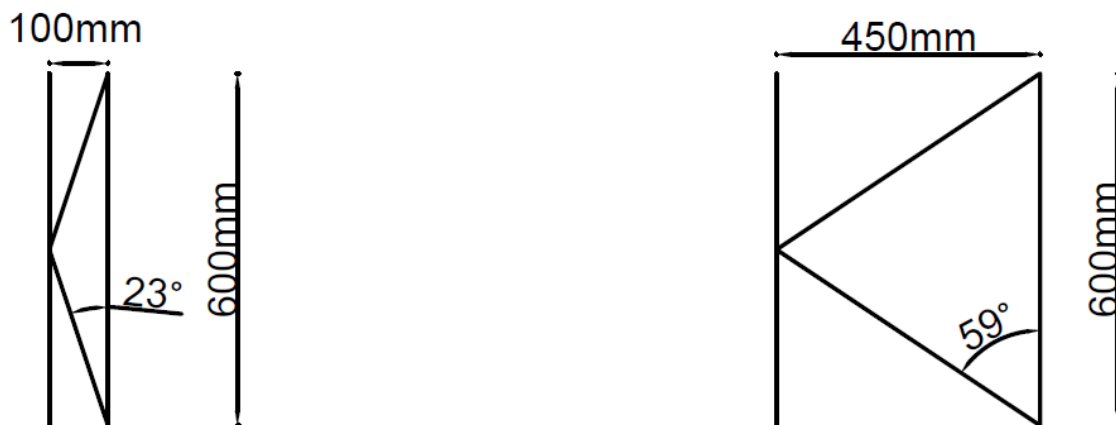
Bilete 5 - Bøyle



Bilete 6 - anker

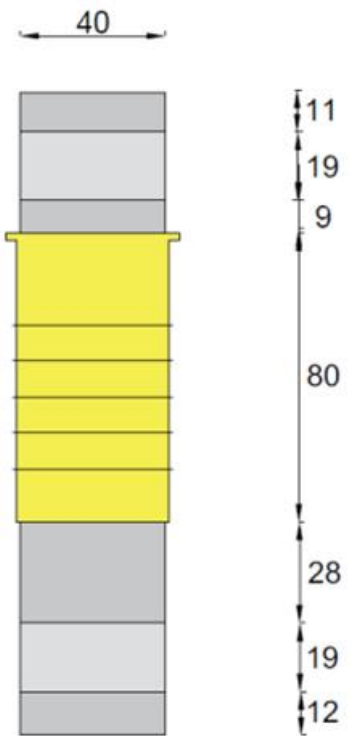
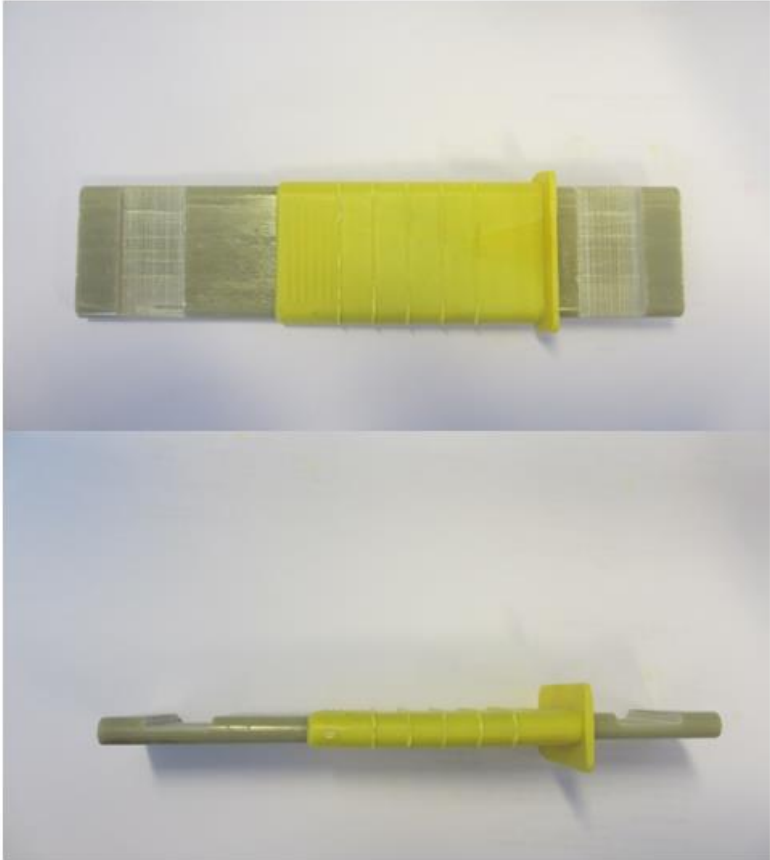
stål som er støypt inn må også sjiktforbinderane ha overdekning. Dette fører til at sjikta med metalliske sjiktforbinderar må ha ein tjukkeleik på minimum 60mm, men ettersom innersjiktet ofte er tjukkare av strukturelle grunnar og yttersjiktet er utsatt for eit hardare miljø enn tørt inneklime blir typisk tjukkeleik 80-100mm. Ved bruk av glasfiber kan tjukkeleiken reduserast og er først og fremst avhengig av kor mykje betong sjiktforbinderane treng for å få tilstrekkeleg forankring. Vanlig tjukkeleik blir dermed 40-50mm.

Vanlige sjiktforbinderar er bøylar, anker og stiger. Ein bøyel overfører berre horisontalkrefter, eit anker berre vertikalkrefter, medan ein stige overfører begge delar. Ofte er det stigar som blir brukt som hovudforbindelsen, medan anker og bøylar er eit tillegg der det ikkje er plass til ein stige eller det av ein annan grun er behov for ekstra sterk forbindelse. Ein bøyel vil ligge horisontalt gjennom veggen og kreftene vil derfor virke parallelt med retninga på bøyelen. Ankera og stigane derimot går på skrå gjennom sjikta og kreftene vil dermed virke med ein vinkel på retninga til forbinderane. Ein lang/høg sjiktforbindar vil i større grad kunne gå parallelt med den horisontale krafta, medan det i element med eit tynt isolasjonssjikt vil vera mogleg med sjiktforbinderar som går meir parallelt med dei vertikale kreftene. Avhengig av kor tjukk isolasjon dei skal gå gjennom vil stigane ha ein vinkel på mellom 23 og 59 gradar i forhold til det vertikale planet [4].

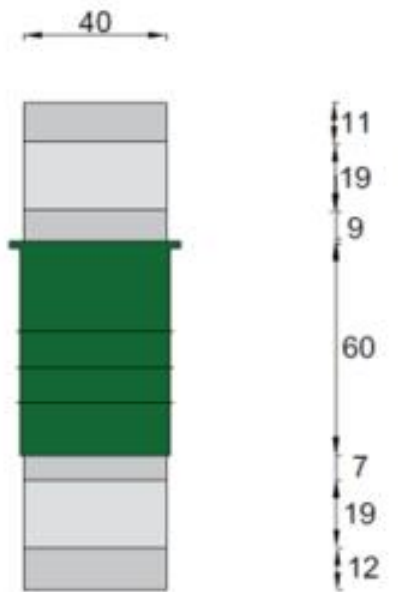
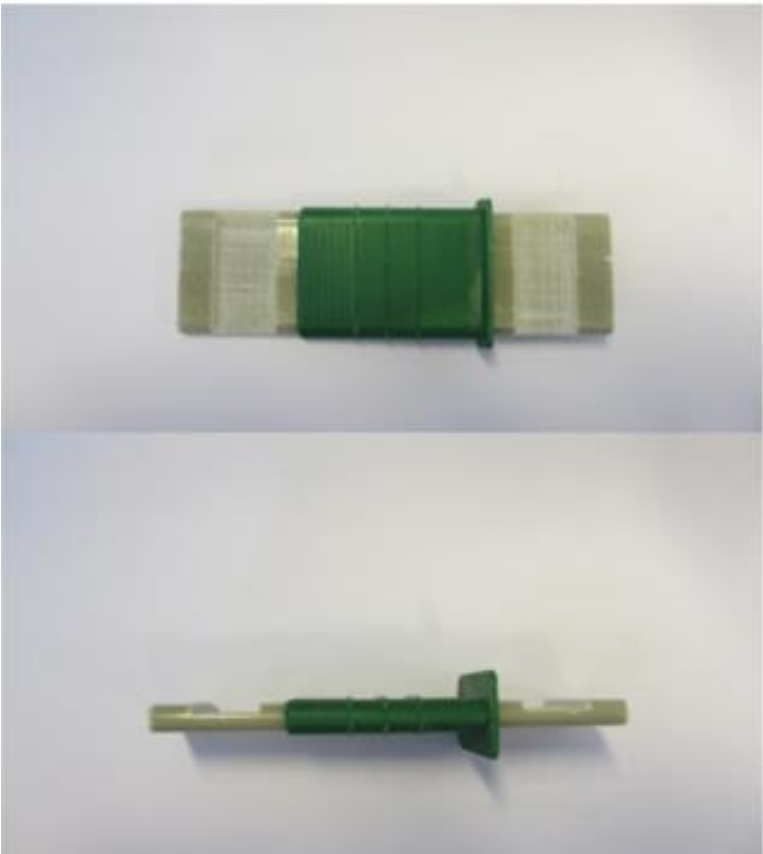


Figur 5 – Vinkel på lågaste og høgaste standard PDM-stige

Kapasiteten til sjiktforbinderane blir rekna ut frå den aksiale kapasiteten, skjærkapasiteten og kapasiteten i eventuelle sveisar. Dei aksiale lastene skaper både strekk og trykk og ettersom ein må ta med ein knekkfaktor for trykk blir det kapasiteten i trykkretning som blir dimensjonerande for den aksiale styrken. Dimensjonerande verdi for aksial kapasitet blir dermed $A_s \cdot f_{yd} \cdot \chi / \gamma$. Skjærkapasiteten er gitt i NS-EN 1993-1-1 som $A_v \cdot (f_v / 3^{0.5}) / \gamma_{m0}$. For å finne kreftene som verkar i sjiktforbinderane må ein ta omsyn til vinkelen mellom kreftene og sjiktforbinderane. Me ser ut frå dette at dersom stigen har liten vinkel i forhold til dei vertikale kreftene vil han ha mindre kapasitet til å ta opp horisontale krefter. I sånne tilfelle kan det vera aktuelt å bruke ekstra bøylar. I motsett tilfelle kor stigane har stor vinkel i forhold til dei vertikale kreftene vil dei i stor grad kunne ta opp dei horisontale kreftene, men har problem med dei vertikale kreftene. Her vil det kunne bli aktuelt med ekstra anker. Samstundes stilles det krav til maksimum avstand mellom stigane. Dette fører til at stigane blir ståande så tett at



Figur 6 – CC 180-40-80-60, ein av dei nye sjiktforbinderane.



Figur 7 – CC 140-40-50-50, ein av dei nye sjiktforbinderane

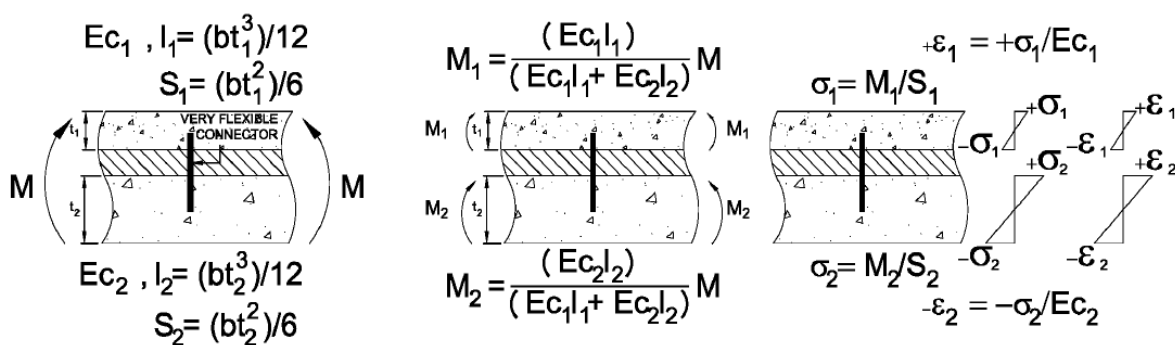
det sjeldan er nødvendig med ekstra anker eller bøylar for å kunne overføre kreftene. Typisk avstand mellom stigar er 120cm for element utan samvirke og 60cm for element med samvirke. [5]

Sjiktforbinderane som i denne oppgåva skal erstatte PDM bøylar og anker er levert av Thermomass® og er laga av glasfiber. Thermomass® leverer fleire typar sjiktforbinderar, men dei som blir nytta her er CC-serien ettersom desse er mest effektive for å oppnå samvirke. Desse sjiktforbinderane ser ut som nokre breie pinnar eller små plate, sjå figur 6 og 7, og får dermed ein sterk akse og ein svak akse. Dette er for så vidt likt som med PDM-stigane som også har ein svak akse og ein sterk akse og gjer at dei må plasserast riktig veg for å bli riktig utnytta. CC-serien krevje at betongsjikta er minimum 50mm for å få tilstrekkeleg forankring. Dette gir ei overdekning på ca. 1 cm noko som er heilt utenkjeleg for metalliske sjiktforbinderar. Dei kan nyttast til isolasjonstjukkuleiker frå 50mm til 200mm, men samvirke blir sterkt redusert når ein overstiger 75mm. Tverrsnittet er relativt stort, 306mm², og vil derfor kunne gi omtrent like store kuldebruer som PDM-stigane på tross av at materialet har låg varmekonduktivitet, $\lambda=1 \text{ W/mK}$ [6].

Analyse av sandwichelement

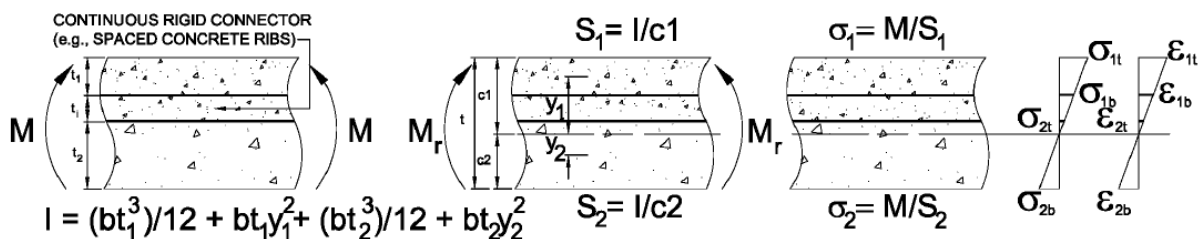
Å analysere eit sandwichelement påverka av berre horisontallaster er rimeleg enkelt enten det er med eller utan samvirke, men det er nokre forskjellar. Å analysere eit element med delvis samvirke, som i praksis alltid er tilfellet, er derimot meir innvikla. Ofte vil det være nødvendig å analysere den aktuelle veggjen både som om han har fullt samvirke og som om han er heilt utan samvirke. Deretter må ein plassere seg ein stad mellom desse to avhengig av tjukkuleiken på isolasjonen, type isolasjon, type sjiktforbindar, kor tett sjiktforbinderane står og tidlige erfaringar.

For ein vegg utan samvirke vil ytre moment bli fordelt på betongsjikta etter kor stive dei er. Det vil sei at det indre momentet i kvart sjikt er direkte proporsjonalt med tjukkuleiken og E-modulen til sjikta. Herifrå er det enkelt å finne både spenninga i kvart sjikt den totale nedbøyinga til elementet.



Figur 8: Spenning i sandwichelement utan samvirke gitt at aksiallastene er 0.

For ein vegg med fullt samvirke vil spenning- og tøyingsfordelinga vera lineært fordelt gjennom tverrsnittet. Ettersom den utvendige lasta fordelar seg jamt over heile tverrsnittet vil det ikkje bli noko klar separat fordeling av moment til kvart sjikt. For å finne ut kor mykje isolasjons/sjiktforbinder sjiktet må tåle kan ein nytte vanlig horisontal skjær berekning [7].



Figur 9: Spenning i sandwichelement med samvirke gitt at aksiallastene er 0.

Desse berekningane er derimot berre gyldige dersom det ikkje er noko aksiallast tilstade. I vegger vil dette i praksis aldri vera tilfellet ettersom dei vil måtte bære si eiga vekt. Når eit element blir utsatt for både aksialkrefter og momentkrefter blir det aktuelt å nytte MN-diagram. Desse diagramma er vanlige å bruke for søyletverrsnitt og gir eit godt bilete av kva belastningar som er mest gunstige for søyla og kor grensa går for kva søyla kan bære. I motsetning til ein isolert vegg finnes det ikkje isolasjon i søyler. Det er dermed ikkje rett fram å nytte MN-diagram i isolerte vegger. I denne oppgåva er det likevel forsøkt å bruke nettopp eit MN-diagram for å finne kva laster veggen vil tåle. Eit anna problem som oppstår her er at tverrsnittet ikkje er symmetrisk. Det blir derfor nødvendig å dele opp tverrsnittet i to seksjonar: Søyleseksjonen langs kanten av elementet og plateseksjonen i midten. I tillegg må kvar seksjon analyserast både ved å anta fullt samvirke og ved å anta at det ikkje finnes noko samvirke. Både under forsøka som blei utført og i praksis bruk vil det berre vera innersjiktet som blir belasta med ytre aksiale krefter. Når ein antar null samvirke kan ein derfor sjå på yttersjiktet som ein fritt opplagt bjelke/plate utan aksialkrefter. MN-diagram blir derfor unødvendig for yttersjiktet her utan samvirke. Analysen utført for å finne kapasiteten utan samvirke er derfor berre utført på innersjiktet. Analysen utført for å finne kapasiteten med fullt samvirke er utført på heile tverrsnittet oppdelt i søyleseksjonen og i plateseksjonen.

I tillegg til at isolasjonen gjer det utfordrande å analysere kapasiteten til veggen har også to av veggane fiberarmerte yttersjikt utan konvensjonell stålarmering. Dette fører til at det ikkje blir eit klart avgrensa område med strekkapasitet. Ein blir dermed tvungen til å ta med strekkapasiteten til betongen. Denne skal i teorien vera noko høgare for betongen når det er fiber i [8]. Dette er også bekrefta av underteiknande for betong i klassen B35 [9]. Samstundes ser det ut til at for sterkare betong, B55-B60, hjelp fiberen lite eller ingenting på strekkapasiteten [10]. Resultata frå trykktestane til elementa i denne oppgåva (sjå resultat kapittelet) viste at betongen hamnar i klassen B30 – B35 på testdagen og dermed vil fiberen hjelpe på strekkapasiteten. Korleis ein på ein mest mogleg riktig måte skal overføre denne strekkapasiteten til berekningane i MN-diagrammet er ikkje heilt klart.

Framgangsmetoden blei å anta at heile den delen av tverrsnittet som blei utsatt for strekk, utanom isolasjonen, var med på å ta opp strekkraftene, ikkje berre eit avgrensa området med armering som er vanlig. Det blei også antatt at strekkraftene ikkje var like store gjennom tverrsnittet og derfor blei ein faktor på 0,8 brukt for å redusere den effektive strekksonen. Dette er heilt likt som for trykksonen kor ein også reduserer trykksonen med 0,8. For begge elementa med fiber viste det seg at den effektive trykksonen strekte seg ut til isolasjonen. Derfor blei strekksonen redusert sånn at han berre bestod av fiberbetongen i yttersjiktet. Resultantkrafta blei plassert i midten av strekksonen, eller midten av yttersjiktet, også dette i likskap med det som blir gjort for trykksonen. Ved å ta vekk armeringa i yttersjiktet forsvinn den kapasiteten denne armeringa gir og dette viser igjen på MN-berekningane. Der det i tverrsnitt med armering i både innersjiktet og yttersjiktet var tri kraftrepresentantar; betongen, armering i trykksonen og armering i strekksonen, er det nå berre to kraftrepresentantar; betongen og armeringa i innersjiktet. Dette betyr at i MN-berekningane er ikkje

sjølve fiberen med på å ta nokre trykkrefter. Det er først når det oppstår strekk at dei byrjar å virke. Dette er gjort fordi tidligare forsøk viser liten eller ingen auke i trykkfastheten til betong med fiber [11].

Armeringa i dei ulike elementa er i stor grad lik. Den store forskjellen er at yttersjiktet er armert med standard K189 armeringsnett i det eine elementet, medan det er fiberarmering i dei andre to. Det er også eit 12mm kamstål langs rand i yttersjiktet med armeringsmatta. Summen av armeringa i yttersjiktet i søylesonen blei dermed $\pi 6^2 + 189 \cdot 0,2 = 151 \text{mm}^2$. I innersjiktet i søylesonen blei armeringa antatt å virke frå midten av søyla. Dette førte til at denne armeringa som skal vera trykkarmering i nokre av berekningane blei strekkarmering. I praksis ville to av desse fire jerna framleis hatt trykk. Resultatet i analysen ville ha blitt det same. For innersjiktet i platesonen kor det berre er eit lag med armering blei analysen utan samvirke lite aktuell. Som vist på utrekningane, «Innersjikt. Utan samvirke. Punkt 5», blir tøyningane i dette sjiktet urealistisk store.

Fiberbetongen skulle innehalde 20kg med fiber per kubikk betong. Målingar utført viser at det i nokre av sjikta er litt mindre. I analysen er det likevel antatt at det er 20kg/m^3 og at denne er jamt fordelt. I følge Reforcetech™ som leverer fiberen vil strekkapasiteten til fiberarmert betong vera:

$$f_r = (0,62 + 0,20 \cdot V_f^{0,45}) \cdot \sqrt{f'_c}, \quad < 0,82 \cdot \sqrt{f'_c}, \quad \text{der } 27,5 \text{MPa} < f'_c < 48,0 \text{MPa}$$

der f_r er strekkapasiteten, V_f er fiberinnhaldet i % (i dette tilfellet 1,11%) og f'_c er trykkfastleiken. For betongen i denne oppgåva blir dermed strekkapasiteten;

$$f_r = (0,62 + 0,20 \cdot 1,11^{0,45}) \cdot \sqrt{35} = 0,83 \cdot \sqrt{35} \rightarrow 0,82 \cdot \sqrt{35} = 4,9 \text{MPa} \quad [12]$$

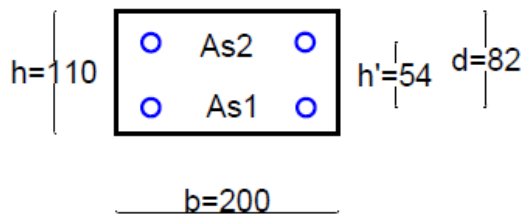
For ein vanlig B35 betong utan fiber er middel strekkapasitet satt til 3,2MPa i EC2. Dette gir at fiberen aukar strekkapasiteten med $4,9/3,2 = 1,53 \rightarrow 53\%$. I motsetning til standard jernarmering med ein karakteristisk strekkapasitet på 500MPa før flyt har framleis fiberbetongen knapt 1% av den styrken. På den andre sida er arealet til betongen i tverrsnittet mykje større enn for armeringsjernet. Som berekningane viser oppnår dermed betongen rundt 2/3 av den strekkapasiteten som armeringsjernet har i søylesonen ved flyt, medan fiberbetongen i platesonen på lang veg overgår strekkapasiteten til armeringsnett.

MN-diagram

Ettersom elementa skulle testast med yttersjiktet ned, sugkreftene forårsaka av vind er sterkare enn trykkreftene (og sugkreftene skapar mest strekk i yttersjiktet) og det er yttersjiktet som er svakast er alle MN-berekningane utført med omsyn til at yttersjiktet skal få strekk og innersjiktet skal få trykk. Dette gir resultat som viser at søylesonane er mykje svakare enn platesonane. Dette kan bli noko missvisande, men den ekstra armeringa som er i søylesonane blir utnytta på ein dårlig måte når dei ligg på trykksida. Derfor får platesonen som også har eit mykje større tverrsnitt større kapasitet trass i mindre armering. I MN-berekningane er det nytta karakteristiske verdiar for både betongen og armeringa. Dette er gjort ettersom det er ønskjeleg å finne den faktiske styrken til elementa under kontrollerte forhold utan å ta omsyn til dimensjonerande faktorar som langtidslast, materialfaktorar og geometriske avvik m.m. 1250, 1220 og 1180 er namna på elementa.

(Dei ulike tjukkeleikane på strekane på figurane har ingen betyding)

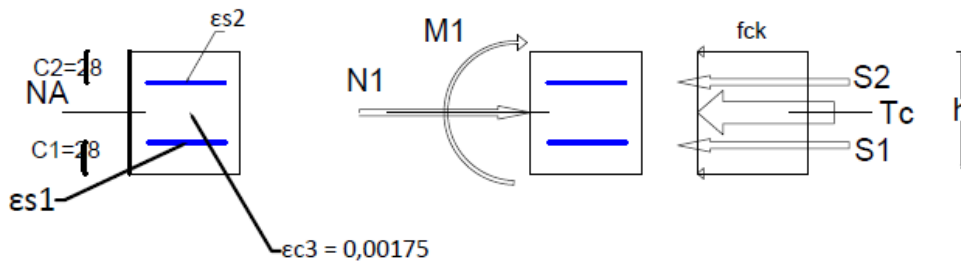
Innersjikt. Utan samvirke.



Betong: B35
 $f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$
 Armering: B500NC
 $f_{sd} = 500 \text{ N/mm}^2$
 $A_{s2} = A_{s1} = 402 \text{ mm}^2$
 $C = 28 \text{ mm}$

1. Reint trykk

$$\epsilon_c = \epsilon_{c3} = 0,00175$$



$$\epsilon_{yk} = f_{yk}/E_s = 500/200000 = 0,0025 > \epsilon_{c3} \rightarrow \text{Ikkje flyt}$$

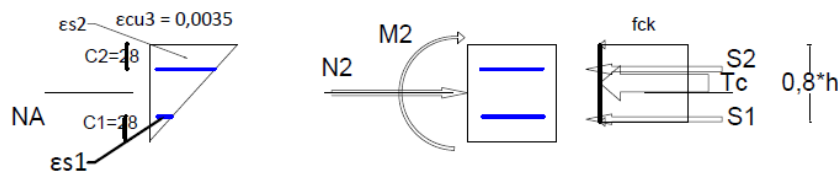
$$T_c = f_{ck} \cdot b \cdot h = 35 \cdot 200 \cdot 110 = 770 \text{ kN}$$

$$S_1 = S_2 = \sigma_{sk} \cdot A_s = E_s \cdot \epsilon_{c3} \cdot A_s = 200000 \cdot 0,00175 \cdot 402 = 140,7 \text{ kN}$$

$$\text{Aksiell likevekt: } N_1 = T_c + S_1 + S_2 = 770 + 140,7 + 140,7 = 941,4 \text{ kN}$$

$$\text{Moment likevekt: } M_1 = 0 \text{ kNm}$$

2. Trykkbrot i betong



Tøyning i "strekkarmering": $\epsilon_{s1} = \frac{110-82}{110} \cdot 0,0035 = 0,00089 \rightarrow$ Ikkje flyt
 Spenning i "strekkarmering": $\sigma_{sk} = E \cdot \epsilon_{s1} = 200000 \cdot 0,00089 = 178,2 \text{ N/mm}^2$

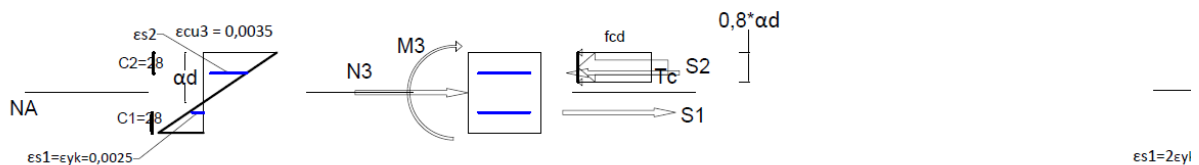
$T_c = f_{ck} \cdot b \cdot 0,8 \cdot h = 35 \cdot 200 \cdot 0,8 \cdot 110 = 616 \text{ kN}$
 $S_1 = \sigma_{sk} \cdot A_{s1} = 178,2 \cdot 402 = 71,6 \text{ kN}$
 $S_2 = f_{yk} \cdot A_{s2} = 500 \cdot 402 = 201 \text{ kN}$

Aksiell likevekt: $N_2 = T_c + S_1 + S_2 = 528 + 71,6 + 201 = 800,6 \text{ kN}$

Momentlikevekt: $M_2 = T_c \cdot (0,5 \cdot h - 0,4 \cdot h) + S_2 \cdot 0,5 \cdot h' - S_1 \cdot 0,5 \cdot h' = 616 \cdot 0,011 + 201 \cdot 0,027 - 71,6 \cdot 0,027 = 10,3 \text{ kNm}$

3. Trykkbrot i betong samstundes med flyt i armering

$\epsilon_c = \epsilon_{cu3}$ og $\epsilon_s = \epsilon_{yk}$



Trykksonehøgd: $\alpha d = 3,5 / (3,5 + 2,5) \cdot d = 0,583d = 47,8 \text{ mm}$
 $0,8 \cdot \alpha d = 38,3 \text{ mm}$

Tøyning i trykkarmering: $\epsilon_{s2} = \frac{47,8-28}{47,8} \cdot 0,0035 = 0,00145 < 0,0025 \rightarrow$ ikkje flyt
 Spenning i trykkarmering: $\sigma_{sk} = E \cdot \epsilon_{s2} = 200000 \cdot 0,00145 = 290 \text{ N/mm}^2$

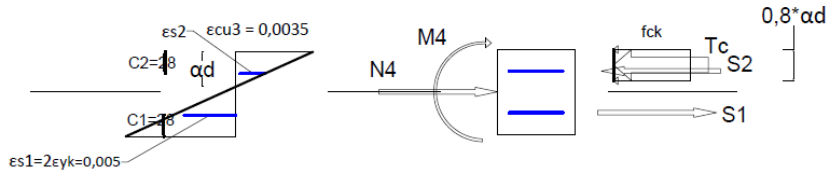
$T_c = f_{ck} \cdot b \cdot 0,8 \cdot \alpha d = 35 \cdot 200 \cdot 0,8 \cdot 47,8 = 267,6 \text{ kN}$
 $S_2 = \sigma_{sk} \cdot A_{s2} = 290 \cdot 402 = 116,6 \text{ kN}$
 $S_1 = f_{yk} \cdot A_{s1} = 500 \cdot 402 = 201 \text{ kN}$

Aksiell likevekt: $N_3 = T_c + S_2 - S_1 = 267,6 + 116,6 - 201 = 145 \text{ kN}$

Moment likevekt: $M_3 = T_c \cdot (0,5 \cdot h - 0,4 \cdot \alpha d) + S_2 \cdot 0,5 \cdot h' + S_1 \cdot 0,5 \cdot h' = 267,6 \cdot 0,0348 + 116,6 \cdot 0,027 + 201 \cdot 0,027 = 17,9 \text{ kNm}$

4. Trykkbrot i betong og dobbel flyttøyning i strekkarmering

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu3} \text{ og } \epsilon_{s1} = 2\epsilon_{yk}$$



$$\text{Trykksonehøgd: } \alpha d = 3,5 / (3,5 + 5) * d = 0,412d = 33,8\text{mm}$$

$$\text{Tøyning i trykkarmering: } \epsilon_{s2} = (33,8 - 28) / 33,8 * 0,0035 = 0,0006 < 0,0025 \rightarrow \text{ikkje flyt}$$

$$\text{Spenning i trykkarmering: } \sigma_{sk} = E * \epsilon_{s2} = 200000 * 0,0006 = 120,1\text{N/mm}^2$$

$$T_c = f_{ck} * b * 0,8 * \alpha d = 35 * 200 * 0,8 * 33,8 = 189,2\text{kN}$$

$$S_2 = \sigma_{sk} * A_{s1} = 120,1 * 402 = 48,3\text{kN}$$

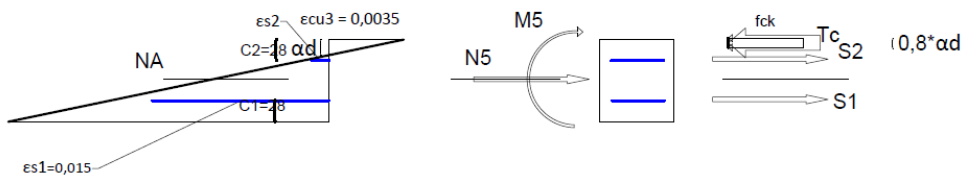
$$S_1 = f_{yk} * A_{s2} = 500 * 402 = 201\text{kN}$$

$$\text{Aksiell likevekt: } N_4 = T_c + S_2 - S_1 = 189,2 + 48,3 - 201 = 9,5\text{kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Moment likevekt: } M_4 &= T_c * (0,5 * h - 0,4 * \alpha d) + S_2 * 0,5 * h' + S_1 * 0,5 * h' = \\ &= 189,2 * 0,0415 + 48,3 * 0,027 + 201 * 0,027 = \\ &= 14,6\text{kNm} \end{aligned}$$

5. Trykkbrot i betong og stor armeringstøyning

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu3} \text{ og } \epsilon_{s1} = 0,015$$



$$\text{Trykksonehøgd: } \alpha d = 3,5 / (3,5 + 15) * d = 0,189d = 15,5\text{mm}$$

Trykkarmering får strekk. Avstand inn til trykkarmering: 28mm. Trykksone er 15,5mm. Avstand frå nøytralakse til armering er 28-15,5 = 12,5mm

$$\text{Tøyning i "trykkarmering": } \epsilon_{s2} = (15,5 - 12,5) / 15,5 * 0,0035 = 0,00068 < 0,0025 \rightarrow \text{ikkje flyt}$$

$$\text{Spenning i "trykkarmering": } \sigma_{sk} = 200000 * 0,00068 = 135,5\text{N/mm}^2$$

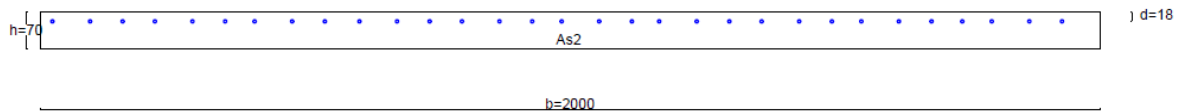
$$T_c = f_{ck} * b * 0,8 * \alpha d = 35 * 200 * 0,8 * 15,5 = 86,8\text{kN}$$

$$S_1 = f_{yk} * A_{s1} = 500 * 402 = 201\text{kN}$$

$$S_2 = \sigma_{sk} * A_{s2} = 135,5 * 402 = 54,5\text{kN}$$

$$\text{Aksiell likevekt: } N_5 = T_c - S_2 - S_1 = 86,8 - 54,5 - 201 = -181,1\text{kN}$$

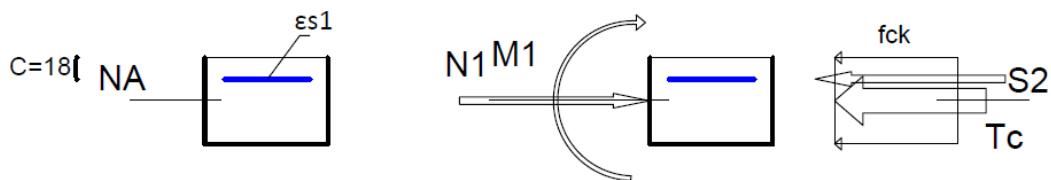
$$\begin{aligned} \text{Moment likevekt: } M_5 &= T_c * (0,5 * h - 0,4 * \alpha d) + S_1 * 0,5 * h' - S_2 * 0,5 * h' = \\ &= 86,8 * 0,0488 + 201 * 0,0027 - 54,5 * 0,0027 = \\ &= 4,6\text{kNm} \end{aligned}$$



Betong: B35
 $f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$
 Armering: B500NC
 $f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$
 $A_{s1} = A_{s2} = 378 \text{ mm}^2$
 $C = 18 \text{ mm}$

1. Reint trykk

$$\epsilon_c = \epsilon_{c3} = 0,00175$$



$$\epsilon_{yk} = f_{yk}/E_s = 500/200000 = 0,0025 > \epsilon_{c3} \rightarrow \text{armeringa flyt ikkje}$$

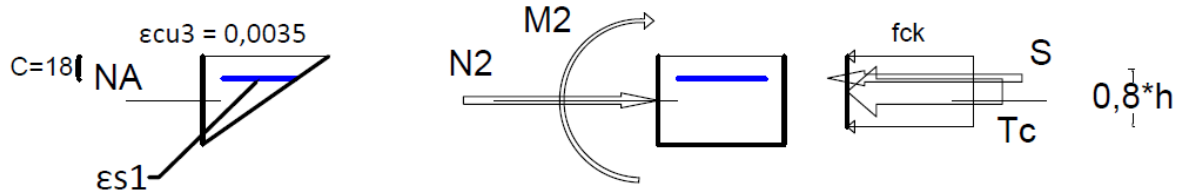
$$T_c = f_{ck} \cdot b \cdot h = 35 \cdot 2000 \cdot 70 = 4900 \text{ kN}$$

$$S_2 = \sigma_{sk} \cdot A_{s2} = E_s \cdot \epsilon_{c3} \cdot A_{s2} = 200000 \cdot 0,00175 \cdot 378 = 132,3 \text{ kN}$$

$$\text{Aksiell likevekt: } N_1 = T_c + S_2 = 4900 + 132,3 = 5032,2 \text{ kN}$$

$$\text{Moment likevekt: } M_1 = 0 \text{ kNm}$$

2. Trykkbrot i betong



$$\epsilon_{s1} = 18 \cdot 0,0035 / 70 = 0,0009 < \epsilon_{yd} \rightarrow \text{flyt ikkje}$$

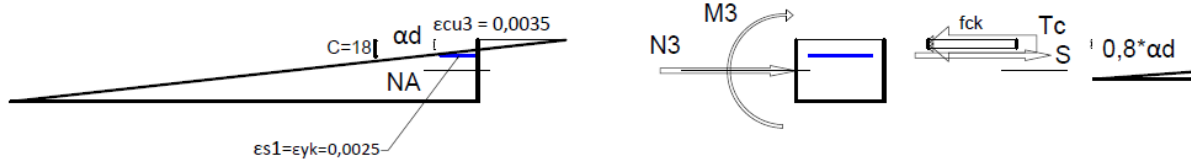
$$\begin{aligned} T_c &= f_{ck} \cdot b \cdot 0,8 \cdot h = 35 \cdot 2000 \cdot 0,8 \cdot 70 = 3920 \text{ kN} \\ S_2 &= f_{yk} \cdot A_s = 500 \cdot 378 = 189 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Aksiell likevekt: } N_2 = T_c + S_2 = 3360 + 189 = 3549 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Momentlikevekt: } M_2 &= T_c \cdot (0,5 \cdot h - 0,4 \cdot h) + S \cdot (0,5h - C) = \\ &= 3920 \cdot 0,007 + 189 \cdot 0,053 = 37,5 \text{ kNm} \end{aligned}$$

3. Trykkbrot i betong samstundes med flyt i armering

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu3} \text{ og } \epsilon_s = \epsilon_{yk}$$



$$\text{Trykksonehøgd: } \alpha d = 3,5 / (3,5 + 2,5) * d = 0,617d = 11,1\text{mm}$$

$$0,8 * \alpha d = 8,9\text{mm}$$

Tøyning i trykkarmering: ingen trykkarmering

$$T_c = f_{ck} * b * 0,8 * \alpha d = 35 * 2000 * 0,8 * 11,1 = 621,6\text{kN}$$

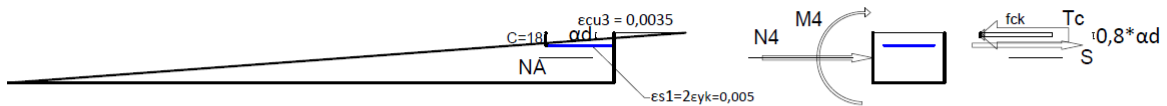
$$S = f_{yk} * A_s = 500 * 378 = 189\text{kN}$$

$$\text{Aksiell likevekt: } N_3 = T_c - S = 621,6 - 189 = 343,8\text{kN}$$

$$\text{Momentlikevekt: } M_3 = T_c * (0,5h - 0,4 * \alpha d) - S * (0,5 * h - C) = 621,6 * 0,0306 - 189 * 0,017 = 15,8\text{kNm}$$

4. Trykkbrot i betong og dobbel flyttøyning i strekkarmering

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu3} \text{ og } \epsilon_{s1} = 2\epsilon_{yk}$$



$$\text{Trykksonehøgd: } \alpha d = 3,5 / (3,5 + 5) * d = 0,412d = 7,4\text{mm}$$

$$0,8 * \alpha d = 5,9$$

Tøyning i trykkarmering: Ingen trykkarmering

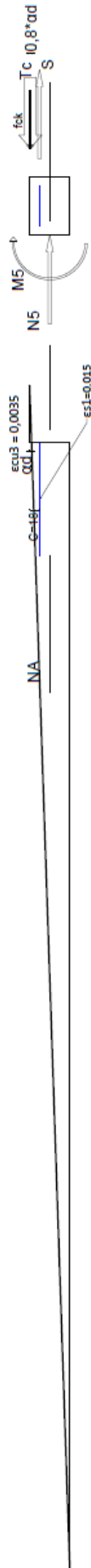
$$T_c = f_{ck} * b * 0,8 * \alpha d = 35 * 2000 * 0,8 * 7,4 = 414,4\text{kN}$$

$$S_1 = f_{yk} * A_s = 500 * 378 = 189\text{kN}$$

$$\text{Aksiell likevekt: } N_4 = T_c - S = 414,4 - 189 = 166,2\text{kN}$$

$$\text{Momentlikevekt: } M_4 = T_c * (0,5 * h - 0,4 * \alpha d) - S * (0,5 * h - C) = 414,4 * 0,032 - 189 * 0,017 = 10,0\text{kNm}$$

5. Trykkrøt i betong og stor armeringstøyning
 $\epsilon_c = \epsilon_{cu3}$ og $\epsilon_{s1} = 0,015$



Trykksonehøgd: $\alpha d = 3,5 / (3,5 + 15) * d = 0,189d = 3,4\text{mm}$
 $0,8 * \alpha d = 2,7\text{mm}$

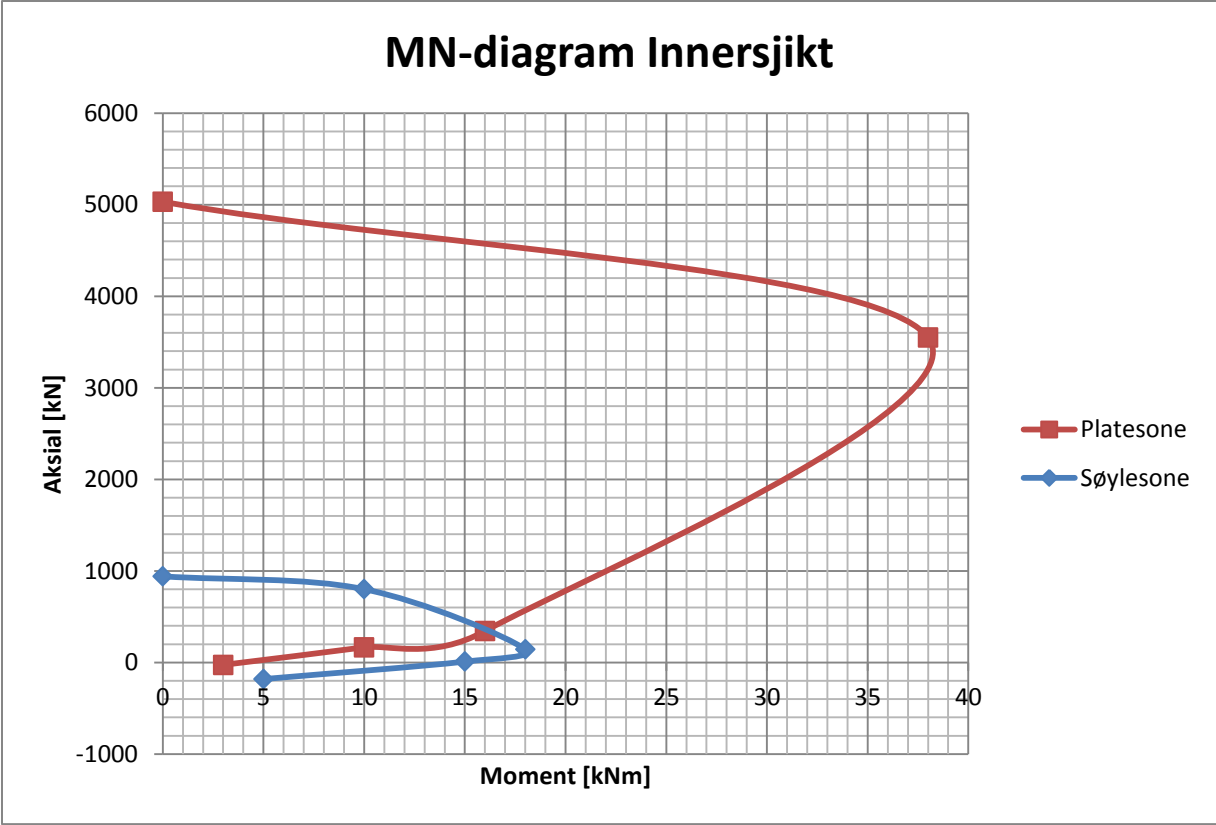
Tøyning i trykkarmering: ingen trykkarmering

$T_c = f_{ck} * b * 0,8 * \alpha d = 35 * 2000 * 0,8 * 3,4 = 190,4\text{kN}$

$S = f_{yk} * A_s = 500 * 378 = 189\text{kN}$

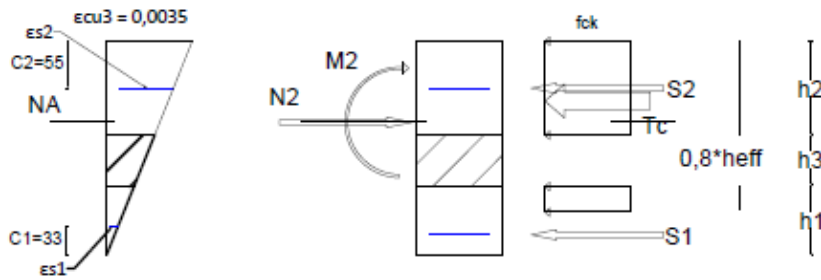
Aksiell likevekt: $N_5 = T_c - S = 190,4 - 189 = -25,8\text{kN}$

Momentlikevekt: $M_5 = T_c * (0,5 * h - 0,4 * \alpha d) - S * (0,5 * h - c)$
 $190,4 * 0,0336 - 189 * 0,017 = 3,2\text{kNm}$



Graf 1 – MN-diagram for søylesonen og platesonen for innersjiktet åleine.

2. Trykkbrot i betong



Tøyning "strekkarmering": $\epsilon_{s1} = 33 \cdot 0,0035 / 250 = 0,00046 < \epsilon_{yk} \rightarrow$ Ikkje flyt
 Spenning "strekkarmering": $\sigma_{sk} = E \cdot \epsilon_{s1} = 200000 \cdot 0,00046 = 92,4 \text{ N/mm}^2$

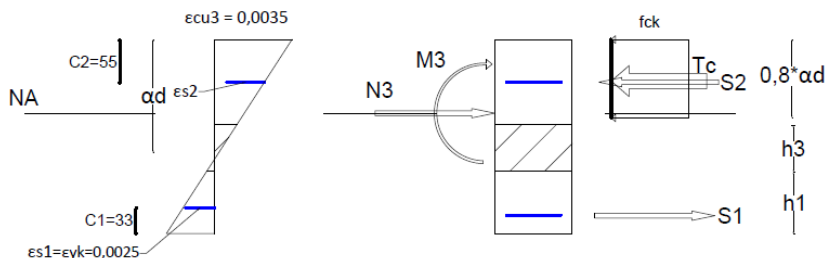
$$\begin{aligned} T_c &= f_{ck} \cdot b \cdot 0,8 \cdot \text{heff} = 35 \cdot 200 \cdot 0,8 \cdot 190 = 1064 \text{ kN} \\ S_1 &= \sigma_{sk} \cdot A_{s1} = 84 \cdot 151 = 12,7 \text{ kN} \\ S_2 &= f_{yk} \cdot A_{s2} = 500 \cdot 804 = 402 \text{ kN} \end{aligned}$$

Aksiell likevekt: $N_2 = T_c + S_1 + S_2 = 1064 + 12,7 + 402 = 1478,7 \text{ kN}$

Momentlikevekt: $M_2 = T_c \cdot (0,5 \cdot \text{heff} - 0,4 \cdot \text{heff}) + S_2 \cdot (0,5 \cdot \text{heff} - C_2) - S_1 \cdot (0,5 \cdot \text{heff} + h_3 - C_1) = 1064 \cdot 0,025 + 402 \cdot 0,04 - 12,7 \cdot 0,122 = 41,1 \text{ kNm}$

3. Trykkbrot i betong samstundes med flyt i armering

$\epsilon_c = \epsilon_{cu3}$ og $\epsilon_s = \epsilon_{yk}$



Trykksonehøgd: $\alpha d = 3,5 / (3,5 + 2,5) \cdot d = 0,583d = 126,6 \text{ mm}$

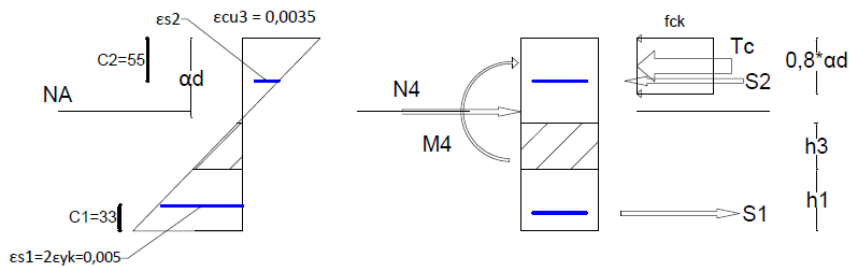
Tøyning i trykkarmering: $\epsilon_{s2} = (126,6 - 55) / 126,6 \cdot 0,0035 = 0,00198 < 0,0025 \rightarrow$ ikkje flyt
 Spenning i trykkarmering: $\sigma_{sk} = E \cdot \epsilon_{s2} = 200000 \cdot 0,00198 = 395,9 \text{ N/mm}^2$

$$\begin{aligned} T_c &= f_{ck} \cdot b \cdot 0,8 \cdot \alpha d = 35 \cdot 200 \cdot 0,8 \cdot 126,6 = 709,0 \text{ kN} \\ S_1 &= f_{yk} \cdot A_{s1} = 500 \cdot 151 = 75,5 \text{ kN} \\ S_2 &= \sigma_{sk} \cdot A_{s2} = 395,9 \cdot 804 = 318,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

Aksiell likevekt: $N_3 = T_c + S_2 - S_1 = 951,8 \text{ kN}$

Moment likevekt: $M_3 = T_c \cdot (0,5 \cdot \text{heff} - 0,4 \cdot \alpha d) + S_2 \cdot (0,5 \cdot \text{heff} - C_2) + S_1 \cdot (0,5 \cdot \text{heff} + h_3 - C_1) = 709,0 \cdot 0,0414 + 381,3 \cdot 0,040 + 75,5 \cdot 0,122 = 53,8 \text{ kNm}$

4. Trykktøyt i betong og dobbel flyttøytning i strekkarmering
 $\epsilon_c = \epsilon_{cu3}$ og $\epsilon_{s1} = 2\epsilon_{yk}$



Trykksonehøgd: $\alpha d = 3,5 / (3,5 + 5) * d = 0,412d = 89,4\text{mm}$

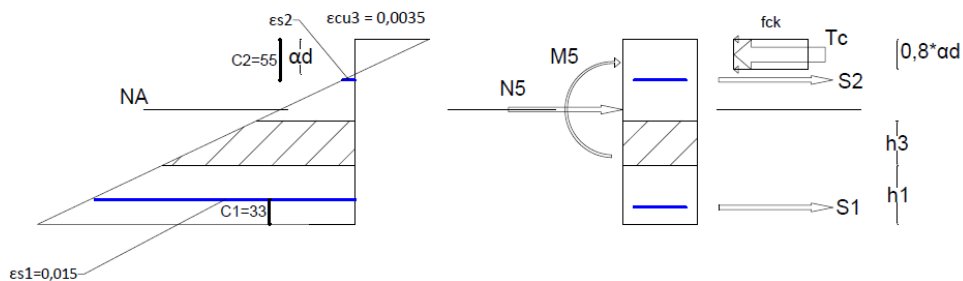
Tøytning i trykkarmering: $\epsilon_{s2} = (89,4 - 55) / 89,4 * 0,0035 = 0,00135 < 0,0025 \rightarrow$ Ikkje flyt
 Spenning i trykkarmering: $\sigma_{sk} = E * \epsilon_{s2} = 200000 * 0,00135 = 270\text{N/mm}^2$

$T_c = f_{ck} * b * 0,8 * \alpha d = 35 * 200 * 0,8 * 89,4 = 500,6\text{kN}$
 $S_1 = f_{yk} * A_{s1} = 500 * 151 = 75,5\text{kN}$
 $S_2 = \sigma_{sk} * A_{s2} = 270 * 804 = 217,1\text{kN}$

Aksiell likevekt: $N_4 = T_c + S_2 - S_1 = 642,2\text{kN}$

Moment likevekt: $M_4 = T_c * (0,5 * h_{eff} - 0,4 * \alpha d) + S_2 * (0,5 * h_{eff} - C_2) + S_1 * (0,5 * h_{eff} + h_3 - C_1) = 500,6 * 0,0562 + 217,1 * 0,04 + 75,5 * 0,122 = 46,0\text{kNm}$

5. Trykktøyt i betong og stor armeringstøytning
 $\epsilon_c = \epsilon_{cu3}$ og $\epsilon_{s1} = 0,015$



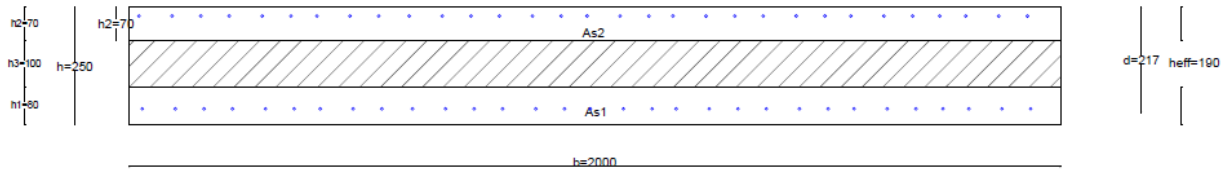
Trykksonehøgd: $\alpha d = 3,5 / (3,5 + 15) * d = 0,189d = 41,1\text{mm}$

Tøytning i trykkarmering: $\epsilon_{s2} = (41,1 - 55) / 41,1 * 0,0035 = -0,00118 < 0,00217 \rightarrow$ ikkje flyt
 (- tydar på at armeringa også her får strekk)
 Spenning i "trykkarmering": $\sigma_{sd} = 200000 * 0,00118 = 236\text{N/mm}^2$

$T_c = f_{ck} * b * 0,8 * \alpha d = 35 * 200 * 0,8 * 41,1 = 230,2\text{kN}$
 $S_1 = f_{yk} * A_{s1} = 500 * 151 = 75,5\text{kN}$
 $S_2 = \sigma_{sk} * A_{s2} = 236 * 804 = 189,7\text{kN}$

Aksiell likevekt: $N_5 = T_c - S_2 - S_1 = -35,0\text{N}$

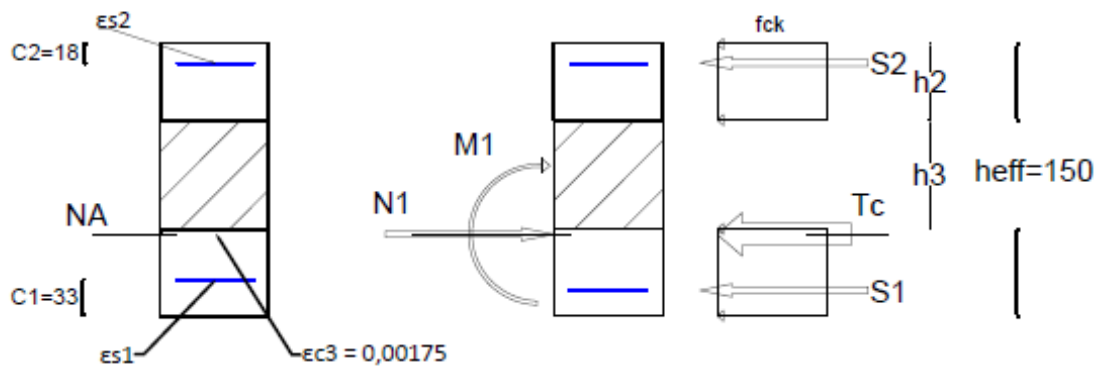
Moment likevekt: $M_5 = T_c * (0,5 * h_{eff} - 0,4 * \alpha d) - S_2 * (0,5 * h_{eff} - C_2) + S_1 * (0,5 * h_{eff} + h_3 - C_1) = 230,2 * 0,0786 - 189,7 * 0,04 + 75,5 * 0,122 = 19,7\text{kNm}$



Betong Innersjikt: B35
 Betong yttersjikt: B35
 f_{ck} innersjikt = 35 N/mm²
 f_{ck} yttersjikt = 35 N/mm²
 Armering: B500NC
 $A_{s1} = A_{s2} = 378 \text{ mm}^2$
 $f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$
 $C1 = 33 \text{ mm}$
 $C2 = 18 \text{ mm}$

1. Reint trykk

$$\epsilon_c = \epsilon_{c3} = 0,00175$$



$$\epsilon_{yk} = f_{yk}/E_s = 5000/200000 = 0,0025 > \epsilon_{c3} \rightarrow \text{armeringa flyt ikkje}$$

$$T_c = f_{ck} \cdot b \cdot h_{eff} = 35 \cdot 2000 \cdot 150 = 10500 \text{ kN}$$

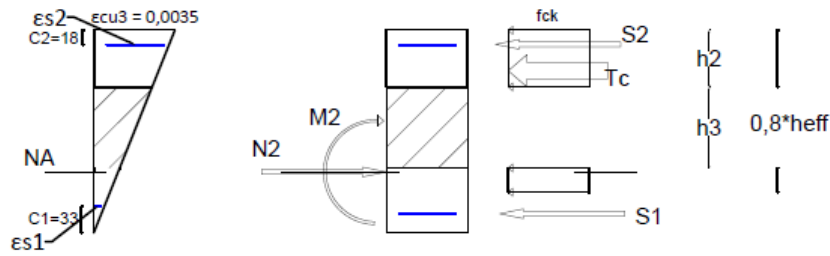
$$S_1 = \sigma_{sk} \cdot A_{s2} = E_s \cdot \epsilon_{c3} \cdot A_{s2} = 200000 \cdot 0,00175 \cdot 378 = 132,3 \text{ kN}$$

$$S_2 = \sigma_{sk} \cdot A_{s2} = E_s \cdot \epsilon_{c3} \cdot A_{s2} = 200000 \cdot 0,00175 \cdot 378 = 132,3 \text{ kN}$$

$$\text{Aksiell likevekt: } N_1 = T_c + S_1 + S_2 = 10500 + 132,3 + 132,3 = 10764,6 \text{ kN}$$

$$\text{Moment likevekt: } M_1 = S_2 \cdot (0,5 \cdot h_{eff} + h_3 - C_2) - S_1 \cdot (0,5 \cdot h_{eff} - C_2) = 132,3 \cdot 0,0157 - 132,3 \cdot 0,0042 = 1,52 \text{ kNm}$$

2. Trykkbrot i betong



Tøyning i "strekkarmering": $\epsilon_{s1} = 33 \cdot 0,0035 / 250 = 0,00046 < \epsilon_{yd} \rightarrow$ flyt ikkje
 Spenning i "strekkarmering": $\sigma_{sk} = 200000 \cdot 0,00046 = 92,4 \text{ N/mm}^2$

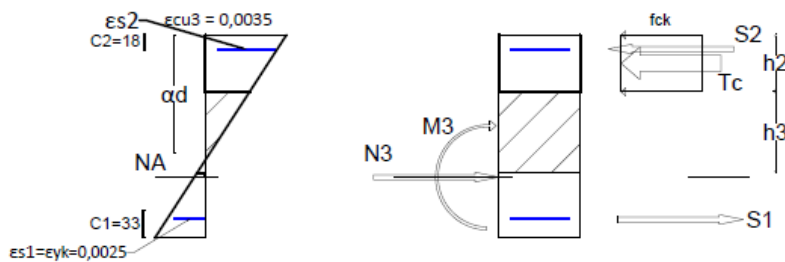
$$\begin{aligned} T_c &= f_{ck} \cdot b \cdot 0,8 \cdot h_{eff} = 35 \cdot 2000 \cdot 100 = 7000 \text{ kN} \\ S_1 &= \sigma_{sk} \cdot A_{s1} = 92,4 \cdot 378 = 34,9 \text{ kN} \\ S_2 &= f_{yk} \cdot A_{s2} = 500 \cdot 378 = 189 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Aksiell likevekt: } N_2 = T_c + S_1 + S_2 = 7000 + 34,9 + 189 = 7223,9 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Momentlikevekt: } M_2 &= T_c \cdot (0,5 \cdot h_{eff} + h_3 - 0,4 \cdot h_{eff}) + S_2 \cdot (0,5 \cdot h_{eff} + h_3 - C_2) - S_1 \cdot (0,5 \cdot h_{eff} - C_1) = \\ &= 7000 \cdot 0,115 + 189 \cdot 0,157 - 34,9 \cdot 0,042 = 833,2 \text{ kNm} \end{aligned}$$

3. Trykkbrot i betong samstundes med flyt i armering

$\epsilon_c = \epsilon_{cu3}$ og $\epsilon_s = \epsilon_{yk}$



$$\begin{aligned} \text{Trykksonehøgd: } \alpha d &= 3,5 / (3,5 + 2,5) \cdot d = 0,583d = 126,5 \text{ mm} \\ 0,8 \cdot \alpha d &= 0,8 \cdot 126,5 = 101,2 \rightarrow \text{Trykksone} = 70 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tøyning i trykkarmering: $\epsilon_{s2} = (126,5 - 18) / 126,5 \cdot 0,0035 = 0,003 > 0,0025 \rightarrow$ flyt

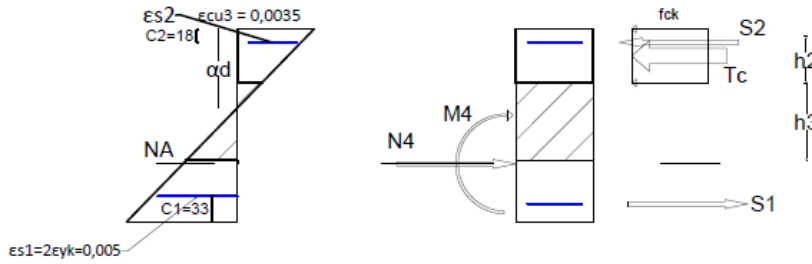
$$\begin{aligned} T_c &= f_{ck} \cdot b \cdot h_2 = 35 \cdot 2000 \cdot 70 = 4900 \text{ kN} \\ S_1 = S_2 &= f_{yk} \cdot A_s = 500 \cdot 378 = 189 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Aksiell likevekt: } N_3 = T_c + S_2 - S_1 = T_c = 4900 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Moment likevekt: } M_3 &= T_c \cdot (0,5 \cdot h_{eff} + h_3 - h_2/2) + S_2 \cdot (0,5 \cdot h_{eff} + h_3 - C_2) + S_1 \cdot (0,5 \cdot h_{eff} - C_1) = \\ &= 4900 \cdot 0,14 + 189 \cdot 0,157 + 189 \cdot 0,042 = 723,6 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4. Trykktbrot i betong og dobbel flyttøyning i strekkarmering

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu3} \text{ og } \epsilon_{s1} = 2\epsilon_{yk}$$



$$\begin{aligned} \text{Trykksonehøgd: } \alpha d &= 3,5 / (3,5 + 5) * d = 0,412d = 89,4\text{mm} \\ 0,8 * \alpha d &= 0,8 * 89,4 = 71,52\text{mm} \rightarrow \text{Trykksone} = 70\text{mm} \end{aligned}$$

$$\text{Tøyning i trykkarmering: } \epsilon_{s2} = (89,4 - 18) / 89,4 * 0,0035 = 0,0028 > 0,0025 \rightarrow \text{flyt}$$

$$T_c = f_{ck} * b * h_2 = 35 * 2000 * 70 = 4900\text{kN}$$

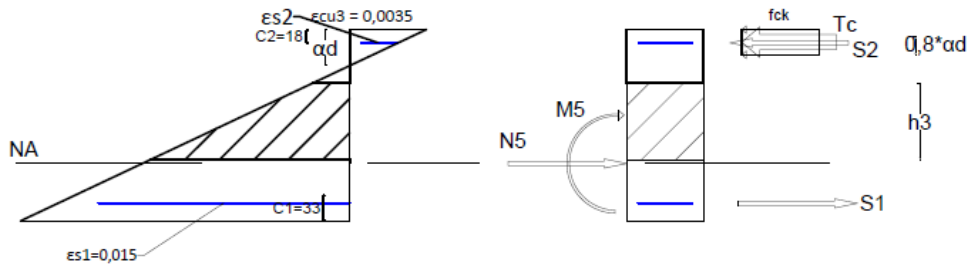
$$S_1 = S_2 = f_{yk} * A_s = 500 * 378 = 189\text{kN}$$

$$\text{Aksiell likevekt: } N_4 = T_c + S_2 - S_1 = T_c = 4900\text{kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Moment likevekt: } M_4 &= T_c * (0,5 * h_{eff} + h_3 - h_2 / 2) + S_2 * (0,5 * h_{eff} + h_3 - C_2) + S_1 * (0,5 * h_{eff} - C_1) = \\ &= 4900 * 0,14 + 189 * 0,157 + 189 * 0,042 = 723,6\text{kNm} \end{aligned}$$

5. Trykktbrot i betong og stor armeringstøyning

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu3} \text{ og } \epsilon_{s1} = 0,015$$



$$\begin{aligned} \text{Trykksonehøgd: } \alpha d &= 3,5 / (3,5 + 15) * d = 0,189d = 41,1\text{mm} \\ 0,8 * \alpha d &= 0,8 * 41,4 = 32,9 \rightarrow \text{Trykksone} = 32,9\text{mm} \end{aligned}$$

$$\text{Tøyning i trykkarmering: } \epsilon_{s2} = (41,1 - 18) / 41,1 * 0,0035 = 0,00197 < 0,0025 \rightarrow \text{ikkje flyt}$$

$$\text{Spenning i trykkarmering: } \sigma_{sk} = 200000 * 0,00197 = 394\text{N/mm}^2$$

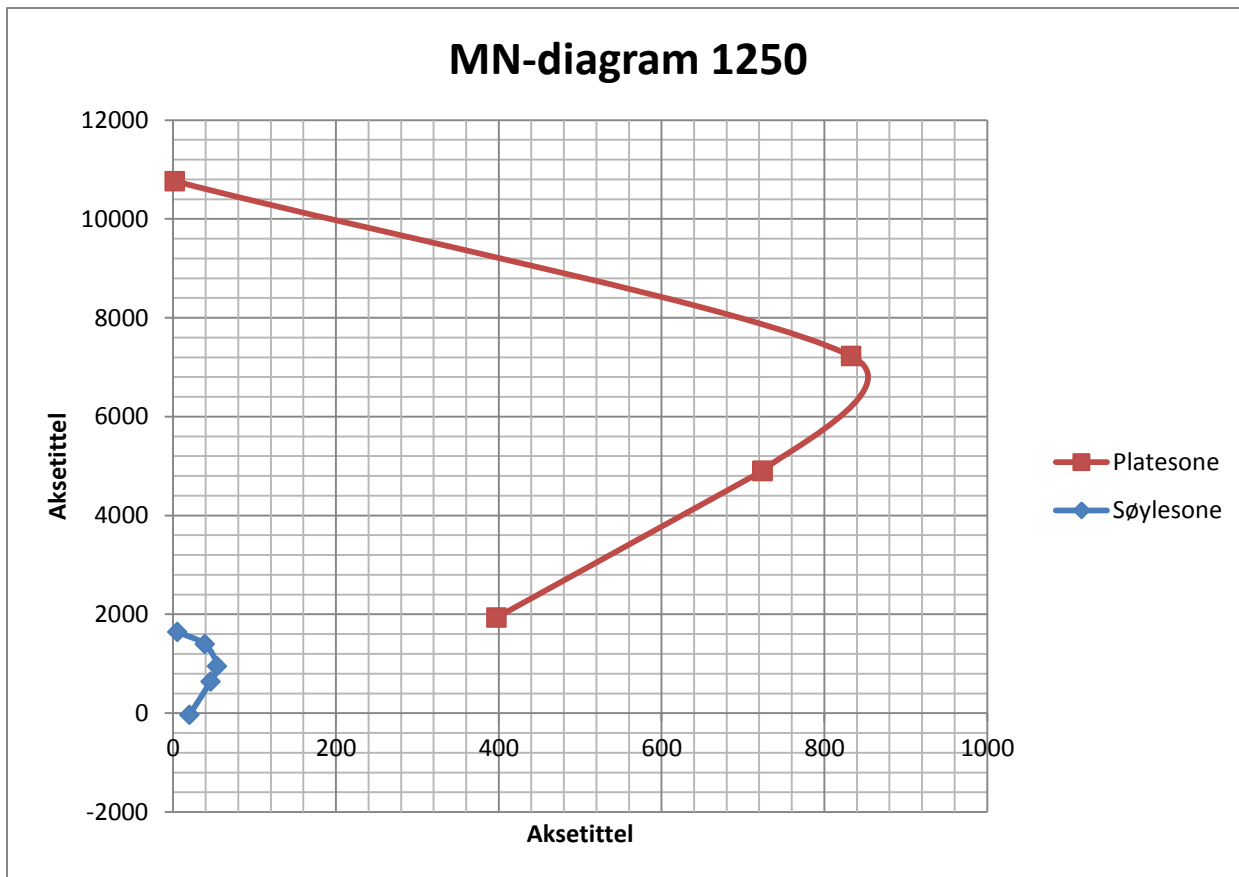
$$T_c = f_{ck} * b * 0,8 * \alpha d = 35 * 2000 * 0,8 * 41,1 = 2301,6\text{kN}$$

$$S_1 = f_{yk} * A_{s1} = 500 * 378 = 189\text{kN}$$

$$S_2 = \sigma_{sk} * A_{s2} = 394 * 378 = 148,9\text{kN}$$

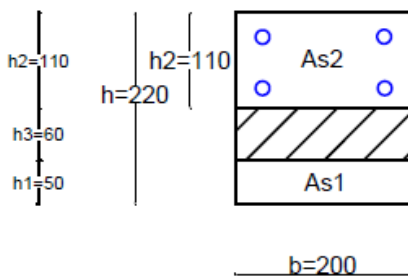
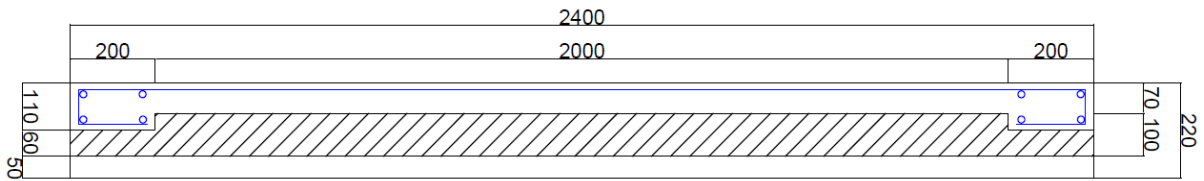
$$\text{Aksiell likevekt: } N_5 = T_c + S_2 - S_1 = 2301,6 + 148,9 - 189 = 1932,7\text{kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Moment likevekt: } M_5 &= T_c * (0,5 * h_{eff} + h_3 - 0,4\alpha d) + S_2 * (0,5 * h_{eff} + h_3 - C_2) + S_1 * (0,5 * h_{eff} - C_1) = \\ &= 2301,6 * 0,159 + 148,9 * 0,157 + 189 * 0,042 = 397,3\text{kNm} \end{aligned}$$



Graf 2 - MN-diagram for søylesonen og platesonen for 1250.

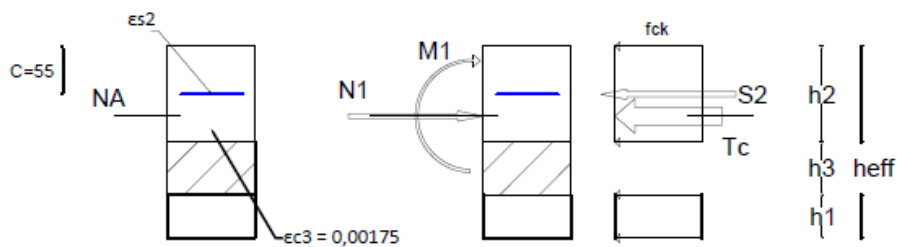
1220. Fullt samvirke



Betong Innersjikt:	B35
Betong yttersjikt:	B35 m/basaltfiber
fck innersjikt =	35 N/mm ²
fck yttersjikt =	35 N/mm ²
fctm yttersjikt =	4,9 N/mm ²
Armering:	B500NC
As1 =	Basaltfiber 20kg/m ³
As2 =	804 mm ²
fsk =	500 N/mm ²
C =	55 mm

1. Reint trykk

$$\epsilon_c = \epsilon_{c3} = 0,00175$$



$$\epsilon_{yk} = f_{yk}/E_s = 500/200000 = 0,0025 > \epsilon_{c3} \rightarrow \text{armeringa flyt ikkje}$$

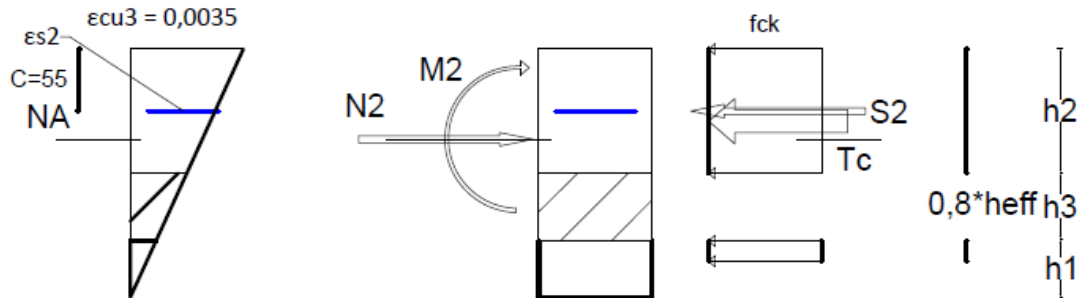
$$T_c = f_{ck} \cdot b \cdot h_{eff} = 35 \cdot 200 \cdot 160 = 1120 \text{ kN}$$

$$S_2 = \sigma_{sk} \cdot A_{s2} = E_s \cdot \epsilon_{c3} \cdot A_{s2} = 200000 \cdot 0,00175 \cdot 804 = 281,4 \text{ kN}$$

$$\text{Aksiell likevekt: } N_1 = T_c + S_2 + S_1 = 1120 + 281,4 = 1401,4 \text{ kN}$$

$$\text{Moment likevekt: } M_1 = S_2 \cdot (0,5 \cdot h_{eff} - C) = 281,4 \cdot 0,025 = 7,0 \text{ kNm}$$

2. Trykkbrot i betong



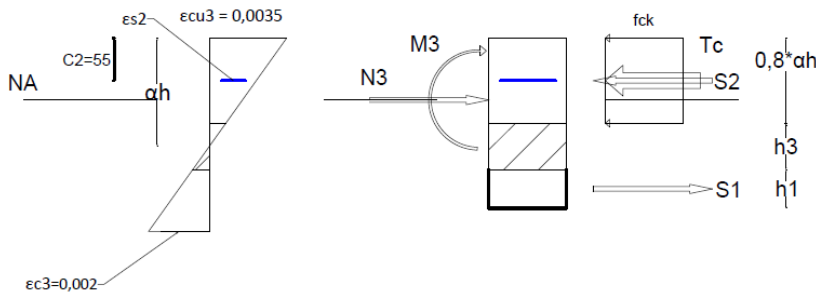
$$T_c = f_{ck} \cdot b \cdot 0,8 \cdot h_{eff} = 35 \cdot 200 \cdot 128 = 896 \text{ kN}$$

$$S_2 = f_{yk} \cdot A_{s2} = 500 \cdot 804 = 402 \text{ kN}$$

Aksiell likevekt: $N_2 = T_c + S_2 = 896 + 402 = 1298 \text{ kN}$

Momentlikevekt: $M_2 = T_c \cdot (0,5 \cdot h_{eff} - 0,4 \cdot h_{eff}) + S_2 \cdot (0,5 \cdot h_{eff} - C) = 896 \cdot 0,016 + 402 \cdot 0,025 = 24,4 \text{ kNm}$

3. Trykkbrot i betong og flyt i fiberbetong $\epsilon_c = \epsilon_{cu3}$



Trykksonehøgd: $\alpha h = 3,5 / (3,5 + 2) \cdot h = 0,636h = 140 \text{ mm}$
 $0,8 \cdot \alpha h = 0,8 \cdot 140 = 112 \text{ mm} \rightarrow \text{trykksone} = 110 \text{ mm}$
 $0,8 \cdot (h - \alpha h) = 0,8 \cdot (220 - 140) = 64 \text{ mm} \rightarrow \text{strekkzone} = 50 \text{ mm}$

Tøyning i trykkarmering: $\epsilon_{s2} = (140 - 55) / 140 \cdot 0,0035 = 0,00213 < 0,0025 \rightarrow \text{Ikkje flyt}$
 Spenning i trykkarmering: $\sigma_{sk} = E \cdot \epsilon_{s2} = 200000 \cdot 0,00213 = 425 \text{ N/mm}^2$

$$T_c = f_{ck} \cdot b \cdot h_2 = 35 \cdot 200 \cdot 110 = 770,0 \text{ kN}$$

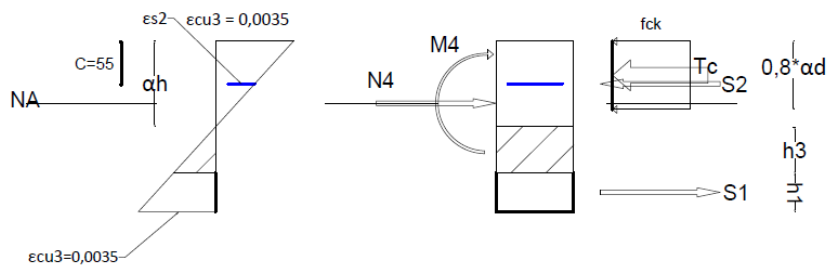
$$S_1 = f_{ctm} \cdot b \cdot h_1 = 4,9 \cdot 200 \cdot 50 = 49,0 \text{ kN}$$

$$S_2 = \sigma_{sk} \cdot A_{s2} = 425 \cdot 804 = 341,7 \text{ kN}$$

Aksiell likevekt: $N_3 = T_c + S_2 - S_1 = 770 + 341,7 - 49,0 = 1062,7 \text{ kN}$

Moment likevekt: $M_3 = T_c \cdot (0,5 \cdot h_{eff} - 0,4 \cdot \alpha h) + S_2 \cdot (0,5 \cdot h_{eff} - C) + S_1 \cdot (0,5 \cdot h_{eff} + h_3 - h_1/2) = 770 \cdot 0,024 + 341,7 \cdot 0,025 + 49 \cdot 0,115 = 32,7 \text{ kNm}$

4. Trykkbrot i betong og riss i fiberbetong
 $\epsilon_c = \epsilon_{cu3}$



Trykksonehøgd: $\alpha h = 3,5 / (3,5 + 3,5) * h = 0,5h = 110,0\text{mm}$
 $0,8 * \alpha h = 0,8 * 110 = 88,0\text{mm} \rightarrow \text{trykksone} = 88,0\text{mm}$
 $0,8 * (h - \alpha h) = 0,8 * (220 - 110) = 88,0\text{mm} \rightarrow \text{strekkzone} = 50,0\text{mm}$

Tøyning i trykkarmering: $\epsilon_{s2} = (110 - 55) / 110 * 0,0035 = 0,00175 < 0,0025 \rightarrow \text{ikkje flyt}$

Spenning i trykkarmering: $\sigma_{sk} = E * \epsilon_{s2} = 200000 * 0,00175 = 350\text{N/mm}^2$

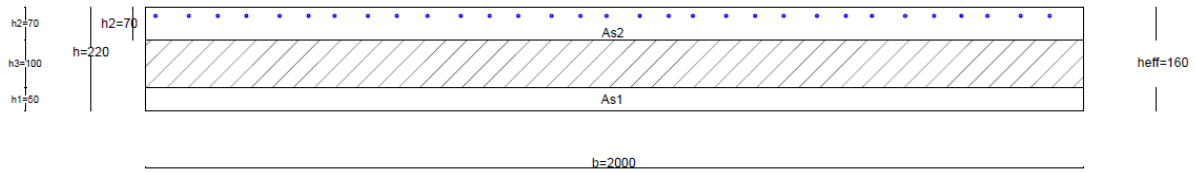
$T_c = f_{ck} * b * 0,8 * \alpha h = 35 * 200 * 0,8 * 110 = 616,0\text{kN}$

$S_1 = f_{ctm} * b * h_1 = 4,9 * 200 * 50 = 49,0\text{kN}$

$S_2 = \sigma_{sk} * A_{s2} = 350 * 804 = 281,4\text{kN}$

Aksiell likevekt: $N_4 = T_c + S_2 - S_1 = 616 + 281,4 - 49 = 848,4\text{kN}$

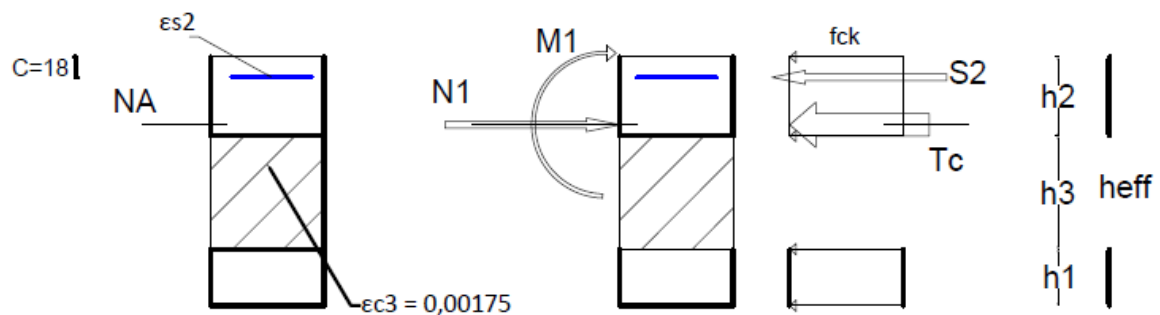
Moment likevekt: $M_4 = T_c * (0,5 * h_{eff} - 0,4 * \alpha d) + S_2 * (0,5 * h_{eff} - C_2) + S_1 * (0,5 * h_{eff} + h_3 - h_1 / 2) = 616,0 * 0,016 + 281,4 * 0,025 + 49 * 0,115 = 22,5\text{kNm}$



Betong Innersjikt: B35
 Betong yttersjikt: B35 m/basaltfiber
 f_{ck} innersjikt = 35 N/mm^2
 f_{ck} yttersjikt = 35 N/mm^2
 f_{ctm} yttersjikt = $4,9 \text{ N/mm}^2$
 Armering: B500NC
 As_1 = Basaltfiber 20kg/m^3
 As_2 = 374 mm^2
 f_{sk} = 500 N/mm^2
 C = 18 mm

1. Reint trykk

$$\epsilon_c = \epsilon_{c3} = 0,00175$$



$$\epsilon_{yk} = f_{yk}/E_s = 500/200000 = 0,0025 > \epsilon_{c3} \rightarrow \text{armeringa flyt ikkje}$$

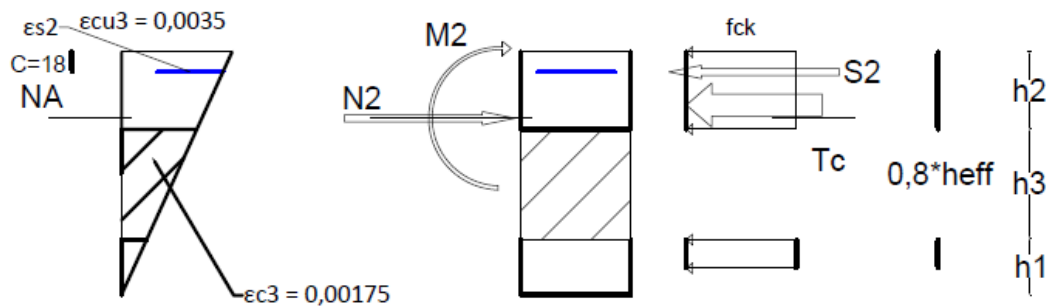
$$T_c = f_{ck} \cdot b \cdot \text{heff} = 35 \cdot 2000 \cdot 120 = 8400 \text{ kN}$$

$$S_2 = \sigma_k \cdot As_2 = E_s \cdot \epsilon_{c3} \cdot As_2 = 200000 \cdot 0,00175 \cdot 374 = 130,9 \text{ kN}$$

$$\text{Aksiell likevekt: } N_1 = T_c + S_2 = 8400 + 130,9 = 8530,9 \text{ kN}$$

$$\text{Moment likevekt: } M_1 = S_2 \cdot (0,5 \cdot \text{heff} - C) = 130,9 \cdot 0,042 = 5,5 \text{ kNm}$$

2. Trykkbrot i betong



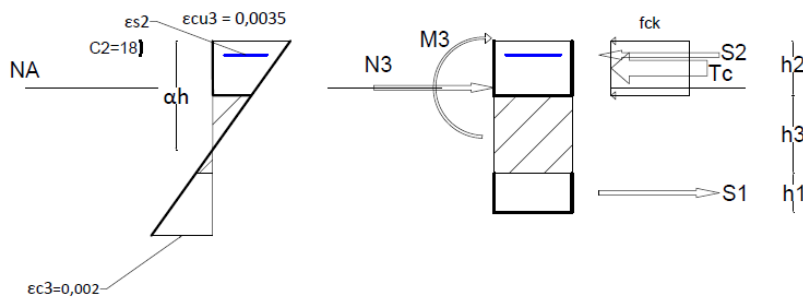
$$T_c = f_{ck} * b * 0,8 * heff = 35 * 2000 * 0,8 * 120 = 6720 \text{ kN}$$

$$S_2 = f_{yk} * A_{s2} = 500 * 374 = 187 \text{ kN}$$

Aksiell likevekt: $N_2 = T_c + S_2 = 6720 + 187 = 6907 \text{ kN}$

Momentlikevekt: $M_2 = T_c * (0,5 * heff - 0,4 * heff) + S_2 * (0,5 * heff - C) = 6720 * 0,012 + 187 * 0,042 = 88,5 \text{ kNm}$

3. Trykkbrot i betong og flyt i fiberbetong $\epsilon_c = \epsilon_{cu3}$



Trykksonehøgd: $\alpha h = 3,5 / (3,5 + 2) * h = 0,636h = 140 \text{ mm}$
 $0,8 * \alpha h = 0,8 * 140 = 112 \text{ mm} \rightarrow \text{trykksone} = 70 \text{ mm}$
 $0,8 * (h - \alpha h) = 0,8 * (220 - 140) = 64 \text{ mm} \rightarrow \text{strekkzone} = 50 \text{ mm}$

Tøyning i trykkarmering: $\epsilon_{s2} = (140 - 18) / 140 * 0,0035 = 0,00305 > 0,0025 \rightarrow \text{Flyt}$

$$T_c = f_{ck} * b * h_2 = 35 * 2000 * 70 = 4900,0 \text{ kN}$$

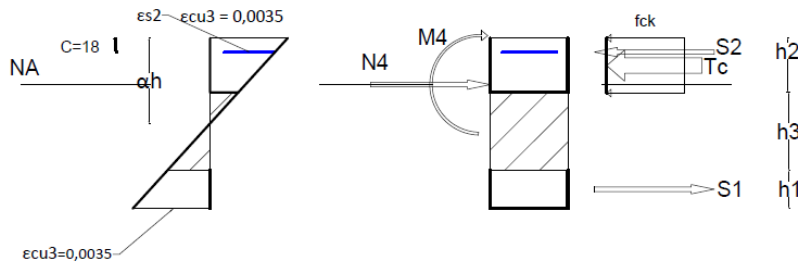
$$S_1 = f_{ctm} * b * h_1 = 4,9 * 2000 * 50 = 490,0 \text{ kN}$$

$$S_2 = f_{yk} * A_{s2} = 500 * 374 = 187 \text{ kN}$$

Aksiell likevekt: $N_3 = T_c + S_2 - S_1 = 4900 + 187 - 490,0 = 4597 \text{ kN}$

Moment likevekt: $M_3 = T_c * (0,5 * heff - 0,5 * h_2) + S_2 * (0,5 * heff - C) + S_1 * (0,5 * heff + h_3 - h_1 / 2) = 4900 * 0,025 + 187 * 0,042 + 490 * 0,095 = 176,9 \text{ kNm}$

4. Trykkbrot i betong og riss i fiberbetong
 $\epsilon_c = \epsilon_{cu3}$



Trykksonehøgd: $\alpha h = 3,5 / (3,5 + 3,5) * h = 0,5h = 110,0\text{mm}$
 $0,8 * \alpha h = 0,8 * 110 = 88,0\text{mm} \rightarrow \text{trykksone} = 70,0\text{mm}$
 $0,8 * (h - \alpha h) = 0,8 * (220 - 110) = 88,0\text{mm} \rightarrow \text{strekkzone} = 50,0\text{mm}$

Tøyning i trykkarmering: $\epsilon_{s2} = (110 - 18) / 110 * 0,0035 = 0,00293 > 0,0025 \rightarrow \text{Flyt}$

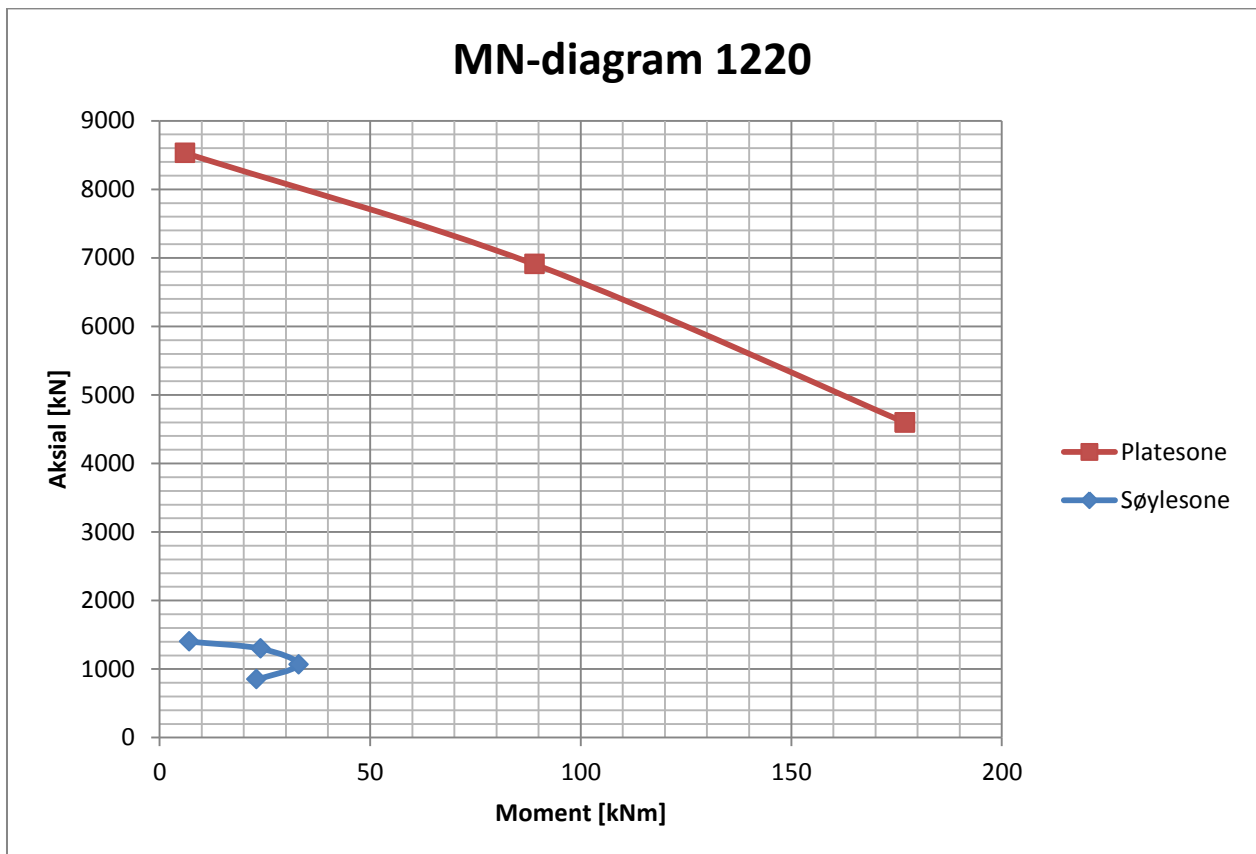
$T_c = f_{ck} * b * 0,8 * h_2 = 35 * 2000 * 70 = 4900,0\text{kN}$

$S_1 = f_{ctm} * b * h_1 = 4,9 * 2000 * 50 = 490,0\text{kN}$

$S_2 = f_{yk} * A_{s2} = 500 * 374 = 187\text{kN}$

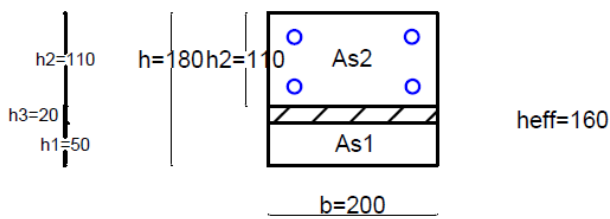
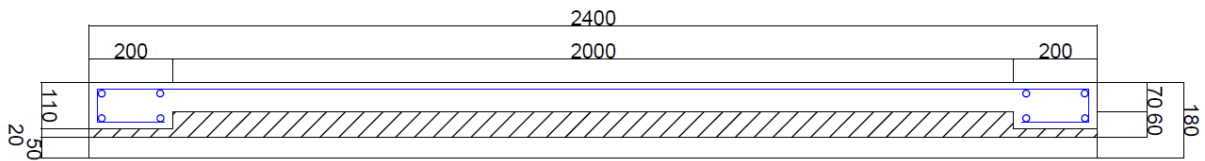
Aksiell likevekt: $N_4 = T_c + S_2 - S_1 = 4900 + 187 - 490,0 = 4597\text{kN}$

Moment likevekt: $M_4 = T_c * (0,5 * h_{eff} - 0,5 * h_2) + S_2 * (0,5 * h_{eff} - C) + S_1 * (0,5 * h_{eff} + h_3 - h_1/2) = 4900 * 0,025 + 187 * 0,042 + 490 * 0,095 = 176,9\text{kNm}$



Graf 3 - MN-diagram for søylesonen og platesonen for 1220

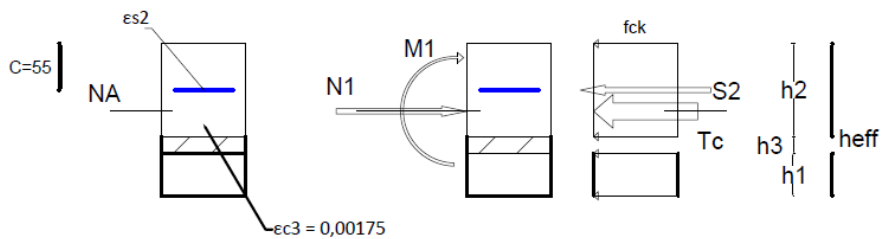
1180. Fullt samvirke



Betong Innersjikt: B35
 Betong yttersjikt: B35 m/basaltfiber
 fck innersjikt = 35 N/mm²
 fck yttersjikt = 35 N/mm²
 fctm yttersjikt = 4,9 N/mm²
 Armering: B500NC
 As1 = Basaltfiber 20kg/m³
 As2 = 804 mm²
 fsk = 500 N/mm²
 C = 55 mm

1. Reint trykk

$$\epsilon_c = \epsilon_{c3} = 0,00175$$



$$\epsilon_{yk} = f_{yk}/E_s = 500/200000 = 0,0025 > \epsilon_{c3} \rightarrow \text{armeringa flyt ikkje}$$

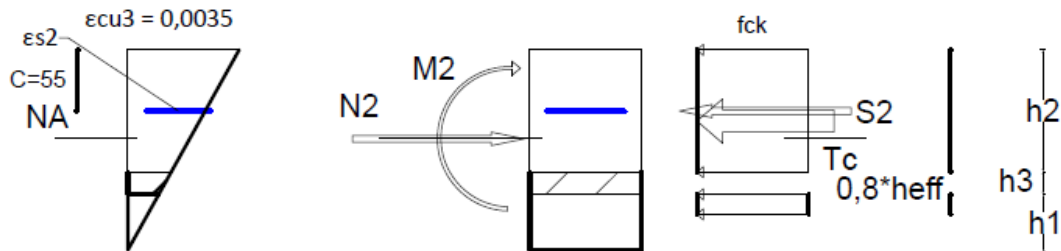
$$T_c = f_{ck} \cdot b \cdot h_{eff} = 35 \cdot 200 \cdot 160 = 1120 \text{ kN}$$

$$S_2 = \sigma_{sk} \cdot A_{s2} = E_s \cdot \epsilon_{c3} \cdot A_{s2} = 200000 \cdot 0,00175 \cdot 804 = 281,4 \text{ kN}$$

$$\text{Aksiell likevekt: } N_1 = T_c + S_2 + S_1 = 1120 + 281,4 = 1401,4 \text{ kN}$$

$$\text{Moment likevekt: } M_1 = S_2 \cdot (0,5 \cdot h_{eff} - C) = 281,4 \cdot 0,025 = 7,0 \text{ kNm}$$

2. Trykkbrot i betong



$$T_c = f_{ck} * b * 0,8 * h_{eff} = 35 * 200 * 128 = 896 \text{ kN}$$

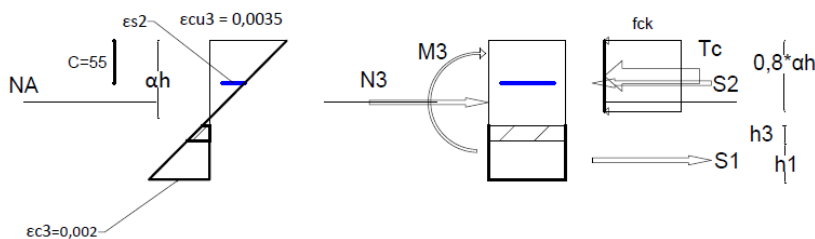
$$S_2 = f_{yk} * A_{s2} = 500 * 804 = 402 \text{ kN}$$

Aksiell likevekt: $N_2 = T_c + S_2 = 896 + 402 = 1298 \text{ kN}$

Momentlikevekt: $M_2 = T_c * (0,5 * h_{eff} - 0,4 * h_{eff}) + S_2 * (0,5 * h_{eff} - C) = 896 * 0,016 + 402 * 0,025 = 24,4 \text{ kNm}$

3. Trykkbrot i betong og flyt i fiberbetong

$\epsilon_c = \epsilon_{cu3}$



Trykksonehøgd: $\alpha h = 3,5 / (3,5 + 2) * h = 0,636h = 114,5 \text{ mm}$
 $0,8 * \alpha h = 0,8 * 114,5 = 91,6 \text{ mm} \rightarrow \text{trykksone} = 91,6 \text{ mm}$
 $0,8 * (h - \alpha h) = 0,8 * (180 - 114,5) = 52,4 \text{ mm} \rightarrow \text{strekkzone} = 50 \text{ mm}$

Tøyning i trykkarmering: $\epsilon_{s2} = (114,5 - 55) / 114,5 * 0,0035 = 0,00182 < 0,0025 \rightarrow \text{Ikkje flyt}$
 Spenning i trykkarmering: $\sigma_{sk} = E * \epsilon_{s2} = 200000 * 0,00182 = 363,8 \text{ N/mm}^2$

$$T_c = f_{ck} * b * 0,8 * \alpha h = 35 * 200 * 0,8 * 114,5 = 641,2 \text{ kN}$$

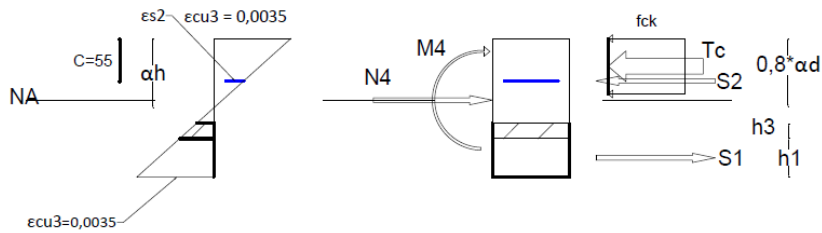
$$S_1 = f_{ctm} * b * h_1 = 4,9 * 200 * 50 = 49,0 \text{ kN}$$

$$S_2 = \sigma_{sk} * A_{s2} = 363,8 * 804 = 292,5 \text{ kN}$$

Aksiell likevekt: $N_3 = T_c + S_2 - S_1 = 641,2 + 292,5 - 49,0 = 884,7 \text{ kN}$

Moment likevekt: $M_3 = T_c * (0,5 * h_{eff} - 0,4 * \alpha h) + S_2 * (0,5 * h_{eff} - C) + S_1 * (0,5 * h_{eff} + h_3 - h_1/2) = 641,2 * 0,0342 + 292,5 * 0,025 + 49 * 0,075 = 32,9 \text{ kNm}$

4. Trykkbrot i betong og riss i fiberbetong
 $\epsilon_c = \epsilon_{cu3}$



Trykksonehøgd: $\alpha h = 3,5 / (3,5 + 3,5) * h = 0,5h = 90,0\text{mm}$
 $0,8 * \alpha h = 0,8 * 90 = 72,0\text{mm} \rightarrow \text{trykksone} = 72,0\text{mm}$
 $0,8 * (h - \alpha h) = 0,8 * (180 - 90) = 72,0\text{mm} \rightarrow \text{strekkzone} = 50,0\text{mm}$

Tøyning i trykkarmering: $\epsilon_{s2} = (90 - 55) / 90 * 0,0035 = 0,00136 < 0,0025 \rightarrow \text{ikkje flyt}$

Spenning i trykkarmering: $\sigma_k = E * \epsilon_{s2} = 200000 * 0,00136 = 272\text{N/mm}^2$

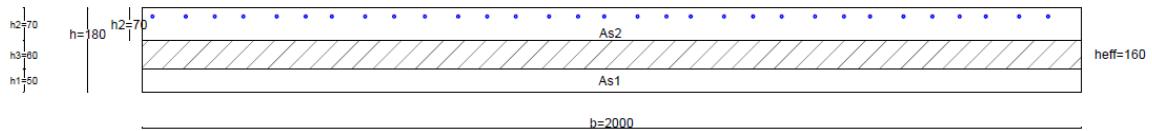
$T_c = f_{ck} * b * 0,8 * \alpha h = 35 * 200 * 0,8 * 90 = 504,0\text{kN}$

$S_1 = f_{ctm} * b * h_1 = 4,9 * 200 * 50 = 49,0\text{kN}$

$S_2 = \sigma_k * A_{s2} = 272 * 804 = 218,7\text{kN}$

Aksiell likevekt: $N_4 = T_c + S_2 - S_1 = 504 + 218,7 - 49 = 673,7\text{kN}$

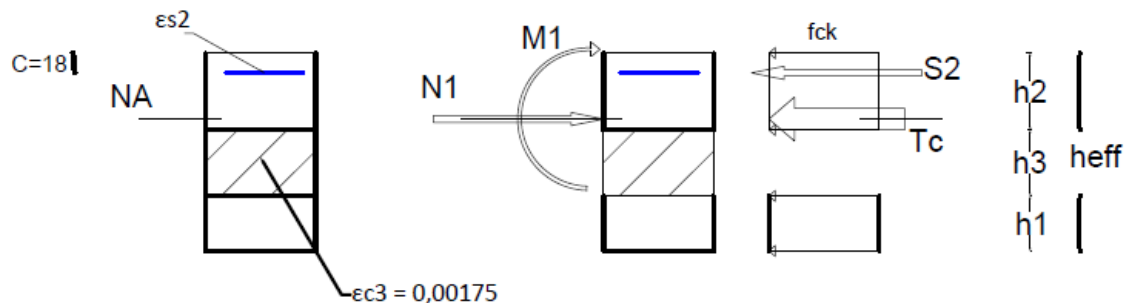
Moment likevekt: $M_4 = T_c * (0,5 * h_{eff} - 0,4 * \alpha d) + S_2 * (0,5 * h_{eff} - C_2) + S_1 * (0,5 * h_{eff} + h_3 - h_1 / 2) = 504,0 * 0,044 + 218,7 * 0,025 + 49 * 0,075 = 31,3\text{kNm}$



Betong Innersjikt: B35
 Betong yttersjikt: B35 m/basaltfiber
 f_{ck} innersjikt = 35 N/mm²
 f_{ck} yttersjikt = 35 N/mm²
 f_{ctm} yttersjikt = 4,9 N/mm²
 Armering: B500NC
 A_{s1} = Basaltfiber 20kg/m³
 A_{s2} = 374 mm²
 f_{sk} = 500 N/mm²
 C = 18 mm

1. Reint trykk

$$\epsilon_c = \epsilon_{c3} = 0,00175$$



$$\epsilon_{yk} = f_{yk}/E_s = 500/200000 = 0,0025 > \epsilon_{c3} \rightarrow \text{armeringa flyt ikkje}$$

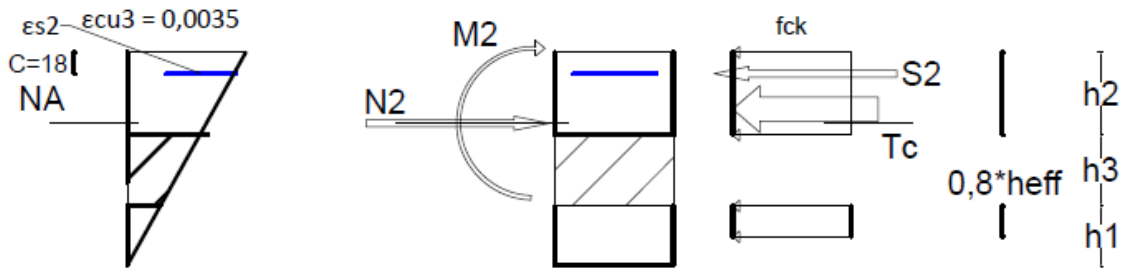
$$T_c = f_{ck} \cdot b \cdot h_{eff} = 35 \cdot 2000 \cdot 120 = 8400 \text{ kN}$$

$$S_2 = \sigma_{sk} \cdot A_{s2} = E_s \cdot \epsilon_{c3} \cdot A_{s2} = 200000 \cdot 0,00175 \cdot 374 = 130,9 \text{ kN}$$

$$\text{Aksiell likevekt: } N_1 = T_c + S_2 = 8400 + 130,9 = 8530,9 \text{ kN}$$

$$\text{Moment likevekt: } M_1 = S_2 \cdot (0,5 \cdot h_{eff} - C) = 130,9 \cdot 0,042 = 5,5 \text{ kNm}$$

2. Trykkbrot i betong



$$T_c = f_{ck} \cdot b \cdot 0,8 \cdot h_{eff} = 35 \cdot 2000 \cdot 0,8 \cdot 120 = 6720 \text{ kN}$$

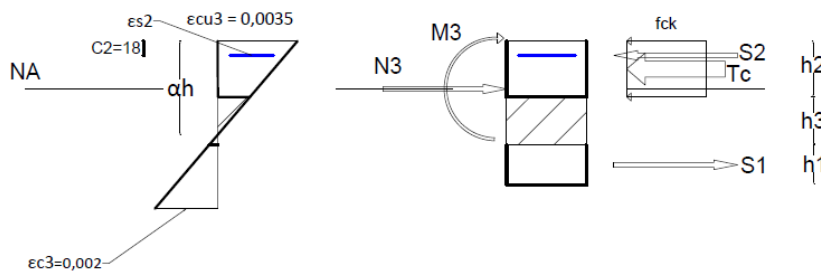
$$S_2 = f_{yk} \cdot A_{s2} = 500 \cdot 374 = 187 \text{ kN}$$

Aksiell likevekt: $N_2 = T_c + S_2 = 6720 + 187 = 6907 \text{ kN}$

Momentlikevekt: $M_2 = T_c \cdot (0,5 \cdot h_{eff} - 0,4 \cdot h_{eff}) + S_2 \cdot (0,5 \cdot h_{eff} - C) = 6720 \cdot 0,012 + 187 \cdot 0,042 = 88,5 \text{ kNm}$

3. Trykkbrot i betong og flyt i fiberbetong

$\epsilon_c = \epsilon_{cu3}$



Trykksonehøgd: $\alpha h = 3,5 / (3,5 + 2) \cdot h = 0,636h = 114,5 \text{ mm}$
 $0,8 \cdot \alpha h = 0,8 \cdot 114,5 = 91,6 \text{ mm} \rightarrow \text{trykksone} = 70 \text{ mm}$
 $0,8 \cdot (h - \alpha h) = 0,8 \cdot (180 - 114,5) = 52,4 \text{ mm} \rightarrow \text{strekkzone} = 50 \text{ mm}$

Tøyning i trykkarmering: $\epsilon_{s2} = (114,5 - 18) / 114,5 \cdot 0,0035 = 0,00295 > 0,0025 \rightarrow \text{Flyt}$

$$T_c = f_{ck} \cdot b \cdot h_2 = 35 \cdot 2000 \cdot 70 = 4900,0 \text{ kN}$$

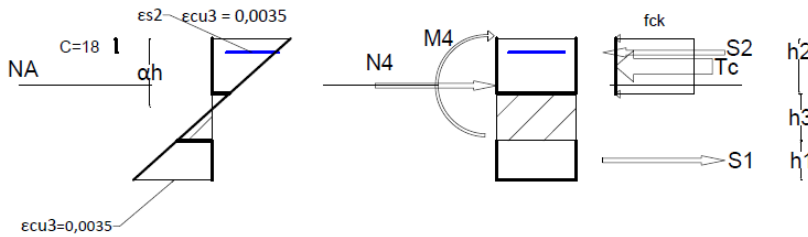
$$S_1 = f_{ctm} \cdot b \cdot h_1 = 4,9 \cdot 2000 \cdot 50 = 490,0 \text{ kN}$$

$$S_2 = f_{yk} \cdot A_{s2} = 500 \cdot 374 = 187 \text{ kN}$$

Aksiell likevekt: $N_3 = T_c + S_2 - S_1 = 4900 + 187 - 490,0 = 4597 \text{ kN}$

Moment likevekt: $M_3 = T_c \cdot (0,5 \cdot h_{eff} - 0,5 \cdot h_2) + S_2 \cdot (0,5 \cdot h_{eff} - C) + S_1 \cdot (0,5 \cdot h_{eff} + h_3 - h_1/2) = 4900 \cdot 0,025 + 187 \cdot 0,042 + 490 \cdot 0,055 = 157,3 \text{ kNm}$

4. Trykkbrot i betong og riss i fiberbetong
 $\epsilon_c = \epsilon_{cu3}$



Trykksonehøgd: $\alpha h = 3,5 / (3,5 + 3,5) \cdot h = 0,5h = 90,0\text{mm}$
 $0,8 \cdot \alpha h = 0,8 \cdot 90 = 72,0\text{mm} \rightarrow \text{trykksone} = 70,0\text{mm}$
 $0,8 \cdot (h - \alpha h) = 0,8 \cdot (180 - 90) = 72,0\text{mm} \rightarrow \text{strekkzone} = 50,0\text{mm}$

Tøyning i trykkarmering: $\epsilon_{s2} = (72 - 18) / 72 \cdot 0,0035 = 0,00263 > 0,0025 \rightarrow \text{Flyt}$

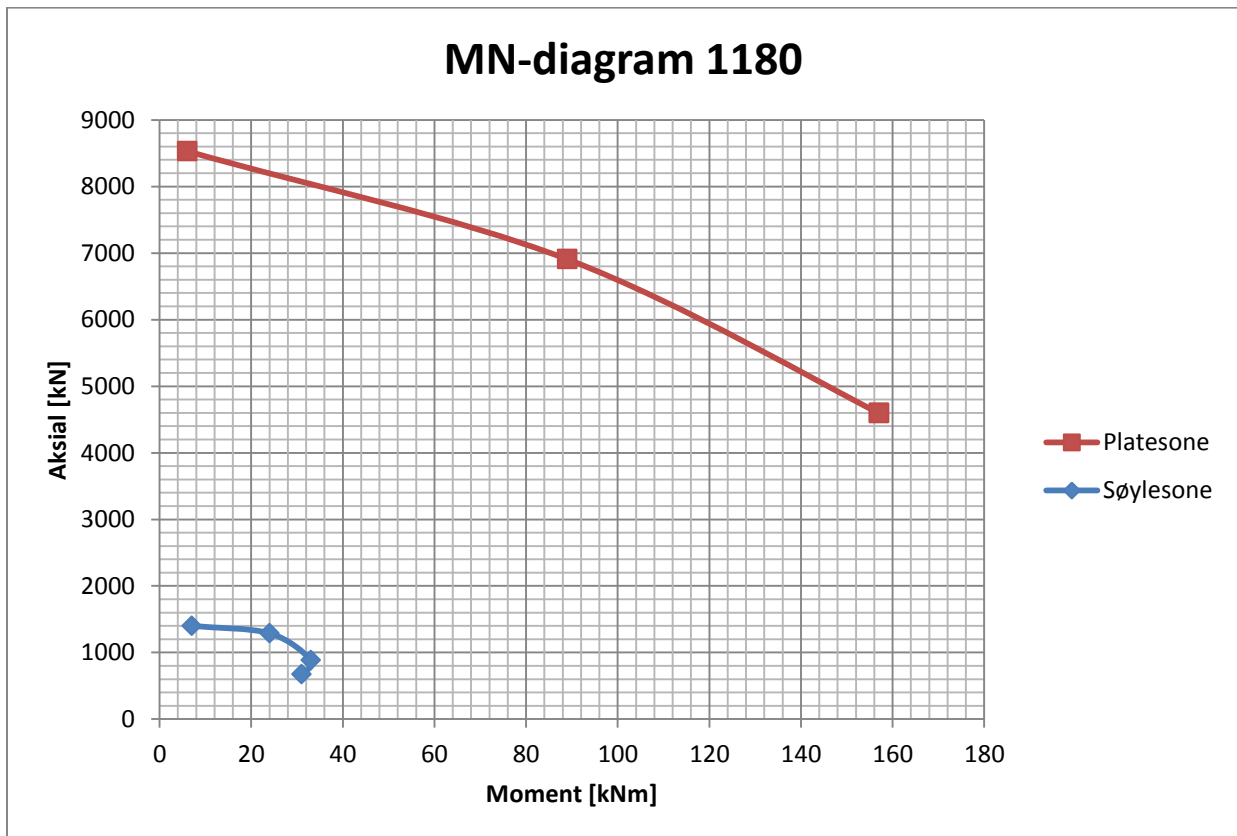
$T_c = f_{ck} \cdot b \cdot 0,8 \cdot h_2 = 35 \cdot 2000 \cdot 70 = 4900,0\text{kN}$

$S_1 = f_{ctm} \cdot b \cdot h_1 = 4,9 \cdot 2000 \cdot 50 = 490,0\text{kN}$

$S_2 = f_{yk} \cdot A_{s2} = 500 \cdot 374 = 187\text{kN}$

Aksiell likevekt: $N_4 = T_c + S_2 - S_1 = 4900 + 187 - 490,0 = 4597\text{kN}$

Moment likevekt: $M_4 = T_c \cdot (0,5 \cdot h_{eff} - 0,5 \cdot h_2) + S_2 \cdot (0,5 \cdot h_{eff} - C) + S_1 \cdot (0,5 \cdot h_{eff} + h_3 - h_1/2) = 4900 \cdot 0,025 + 187 \cdot 0,042 + 490 \cdot 0,055 = 157,3\text{kNm}$



Graf 4 - MN-diagram for søylesonen og platesonen for 1180

Ekspérimentelt

Hensikt

I denne oppgåva skal ein type isolerte veggelement vidareutviklast og testast. Desse veggane blir nytta i einetasjesbygg som lagerhallar, jordbruksbygg og liknande. Tradisjonelt sett har denne typen veggelement hat eit yttersjikt på 8cm armert med vanlig armeringsjern, ofte ei K189 armeringsmatte. Sjiktforbinderane i desse veggane er ofte såkalla stiger laga av rustfritt stål. Når yttersjiktet blir redusert til 5cm får ikkje desse stigane nok overdekning og faren for korrosjon blir dermed for stor. Derfor blir det nytta korrosjonsfrie sjiktforbinderar av glasfiber i denne oppgåva. Eksperimenta utført i denne oppgåva har dermed som formål å finne ut om det lar seg gjera å nytte fiberarmerte yttersjikt i høge og slanke sandwichvegger i lag med sjiktforbinderar av glasfiber berekna på å skape samvirke.

Produksjonen

Det blei produsert tri ulike element. For kvar type blei det produsert tri stykk for å oppnå eit statistisk gjennomsnitt. Elementa er 25cm tjukke, 22cm tjukke og 18cm tjukke og fekk høvesvis namna 1250, 1220 og 1180. Den første typen skulle fungere som eit referanseelement med vanlig armering i begge sjikta og standard sjiktforbinderar. Dei neste to typane blei armert med fiber i yttersjiktet og det blei nytta sjiktforbinderar av glasfiber. Forskjellen på dei to elementtypane med fiber er at tjukkeleiken på isolasjonen blei redusert i det eine. Dette er for å oppnå større grad av samvirke. Alle elementa hadde likt innersjikt, lik lengde og lik breidde.

Produksjonen av elementa er blitt utført i elementfabrikken til Block Berge Bygg. Ei tradisjonell forskalingsform blei satt opp og blei nytta til alle elementa. Ved overgangane til dei tynnare elementa blei forskalinga sagt ned og tilpassa. Dei første elementa, 1250, blei produsert på heilt tradisjonelt vis med armeringsmatte i yttersjiktet, PDM stiger som sjiktforbinderar, EPS som isolasjon, to søylesoner i innersjiktet og ei armeringsmatte på toppen. Søylesonane bestod av 4Ø16 armeringsjern på langs omgitt på tri sider av ei bøygd K131 armeringsmatte. Det blei nytta VKB i yttersjiktet og SKB i innersjiktet. VKB-en blei vibrert med ein vibrator medan SKB-en blei jamna ut med rake og «dabber». Sjå vedlegg «Elementteikningar - 1250» for detaljer. Dei neste elementa, 1220 og 1180, blei produsert ved at yttersjiktet blei støypt først utan å legge ut noko armering. Her er fiberen allereie blanda inn i betongen når han blir fordelt i forma. Denne betongen blei vibrert og retta ut ved bruk av eit vibratorbord. Deretter blei isolasjonen og sjiktforbinderane satt på plass etterfølgd av innersjiktet med same armering og betong som for 1250 elementa. Sjå vedlegg «Elementteikningar – 1220» og «Elementteikningar – 1180» for detaljer.



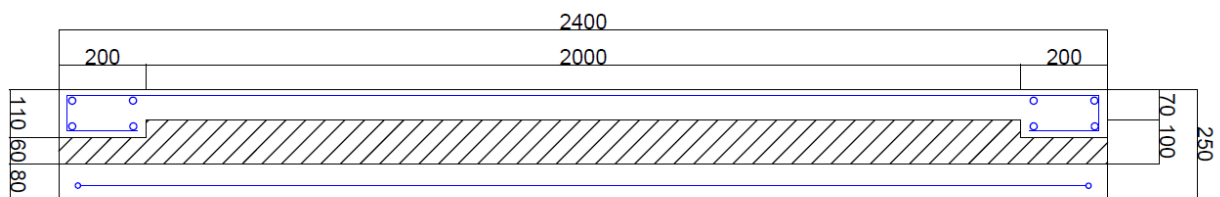
Bilete 7 – Produksjon av 1250



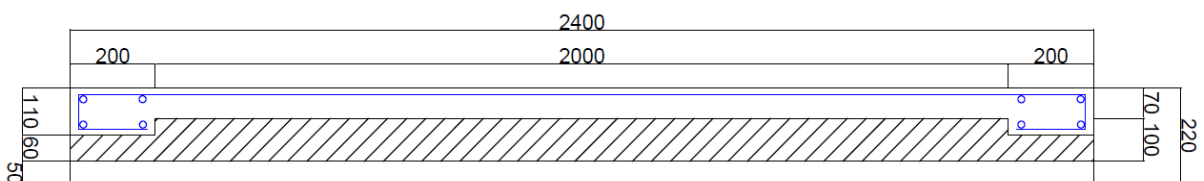
Bilete 8 – Produksjon av 1220

Element	1250	1220	1180
Lengde [mm]	8500	8500	8500
Breidde [mm]	2400	2400	2400
Tjukkelek [mm]	250	220	180
Yttersjikt [mm]	80	50	50
Isolasjon midt [mm]	100	100	60
Isolasjon rand [mm]	60	60	20
Innersjikt midt [mm]	70	70	70
Innersjikt rand [mm]	110	110	110
Armering yttersjikt [mm]	K189 + $\phi 12$ i rand	Fiber	Fiber
Armering innersjikt [mm]	K189 + $\phi 12$ rand kortside	K189 + $\phi 12$ rand kortside	K189 + $\phi 12$ rand kortside
Armering søylesone	4x $\phi 16$ + bøygde K131	4x $\phi 16$ + bøygde K131	4x $\phi 16$ + bøygde K131
Betong yttersjikt	VKB – B35M60	Fiberbetong – B35M60	Fiberbetong – B35M60
Betong innersjikt	SKB – B35 M60	SKB – B35 M60	SKB – B35 M60
Sjiktforbinder	PDM160	CC – 180-40-80-60	CC – 140-40-50-50

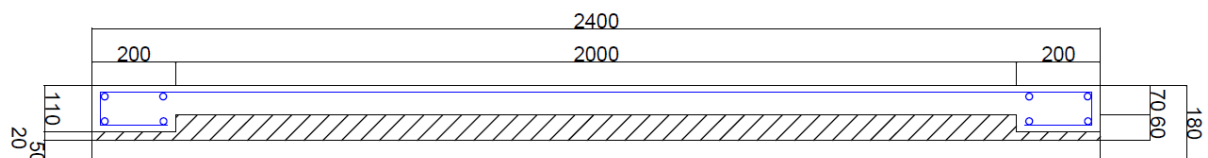
Tabell 2 – Spesifikasjoner for elementa



Figur 10 – Snitt element 1250



Figur 11 – Snitt element 1220



Figur 12 – Snitt element 1180

Elementa herda i minimum 15 timer før dei blei heist ut. Dei blei ståande ute og herda i 12-14 dagar før dei blei trykka. Det blei tatt trykkprøvar av betongen til alle elementa, både yttersjikt og innersjikt. Dei blei også tatt fiberprøve av fiberbetongen for å sjå at fiberen har fordelt seg jamt.

Ettersom det blei produsert tri element av kvar type, det berre var mogleg å produsere eit per dag og alle tri av kvar type blei testa same dagen er herdetida varierende mellom 12-14 dagar på testdagen. Alle elementa fekk ein eigen ID/namn: 1250-1, 1250-2, 1250-3, 1220-1, 1220-2, 1220-3, 1180-1, 1180-2, 1180-3. Dei første fire siffera er namnet på typen element og det femte sifferet er rekkefølga på produksjonen. Altså blei 1250-1 produsert først og har dermed herda i 14 dagar på testdagen. 1250-3 blei produsert sist av 1250-serien og har dermed herda i 12 dagar på testdagen.

Utføring

Testane blei utført ved fabrikk til Block Berge Bygg på ein spesialdesigna plattform bestande av eit stålbord med påsveiste opplegg. I den eine enden er det ein fast støtte som hindrar veggen i å forskyve seg. I andre enden er denne støtta fri. Dette er for at denne skal bli pressa mot veggen og skape ei aksiallast. Denne aksiallasta verkar berre på innersjiktet. På midten av elementet er det også eit opplegg. Dette blei plassert her for å hindre at veggen skulle utsett for for mykje moment for tidleg.

For enkelhets skyld blei elementa testa liggande. Det blei påført aksiallast som skulle simulere taklast, snø og vind og deretter tverrlast som skulle svare til vindlast. Aksiallasta blei påført med bruk av ein hydraulisk jekk. Tverrlasta blei påført ved å gradvis la elementet bære meir av si eiga vekt. Dette blei gjort på følgande måte: Elementet blei først heist ned på tri opplegg. Deretter blei elementet heist opp på midten med eit fjerde opplegg. Når eigenvekta til elementet var jamt fordelt over opplegget i endane og det fjerde opplegget, blei opplegget i midten som elementet i starten låg på fjerna. Deretter blei opplegget i midten heist gradvis ned og dermed fekk elementet bære meir av eigevekta si. Ei vegecelle i kranen viste når lasta var jamt fordelt over opplegga. Når elementet bar heile eigevekta si blei det lagt på sementsekker midt på elementet. Dette blei berre gjort på 1250 elementa.

Når lasta var jamt fordelt på dei tri opplegga blei det sjekka at aksiallasta ikkje hadde endra seg. Avstanden mellom bakken og undersida av midten på elementet blei målt. Deretter blei opplegget i midten heist gradvis ned. For kvar 500kg som blei overført frå opplegget i midten til veggen blei avstanden ned til bakken og dermed nedbøyinga målt. Dette blei målt fram til elementet hadde rissa så mykje at det ikkje var meir styrke igjen i det eller til påført last var godt over det vinden vil kunne forårsake. Det blei også målt kor stor avstand det var mellom rissa lengst frå kvarandre for å sjå kor godt elementa fordelte lasta. Aksiallasta blei sjekka ein gong til.



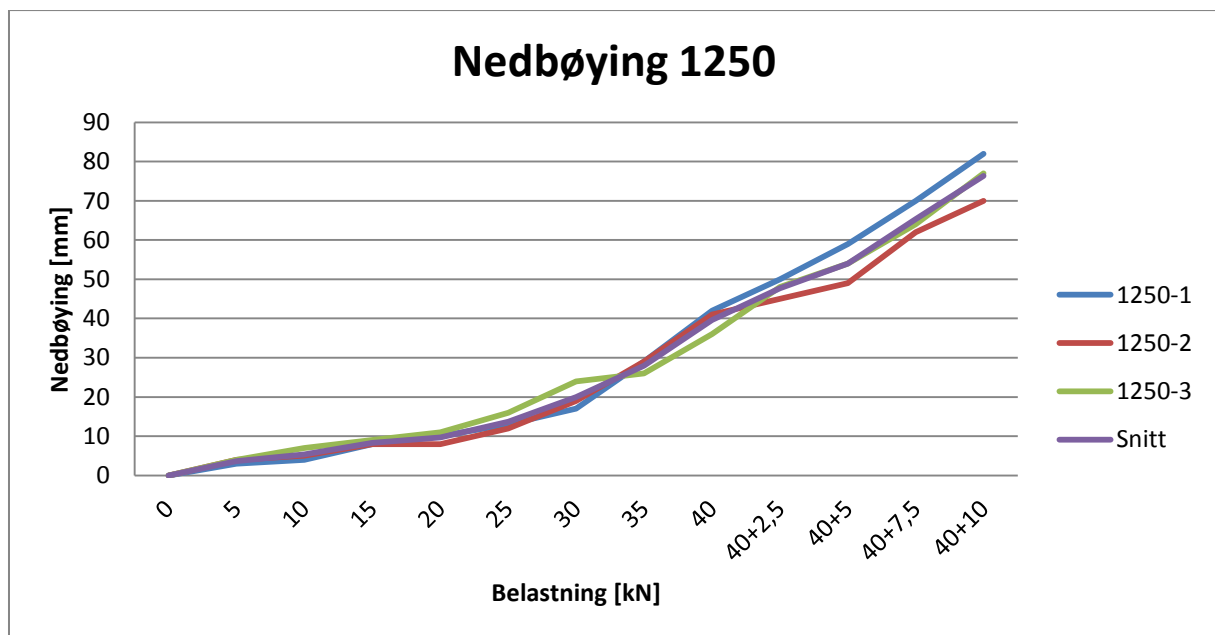
Bilete 9 – Plattformar kor elementa blei testa. Her blir eit 1250 element heist på plass

Resultat

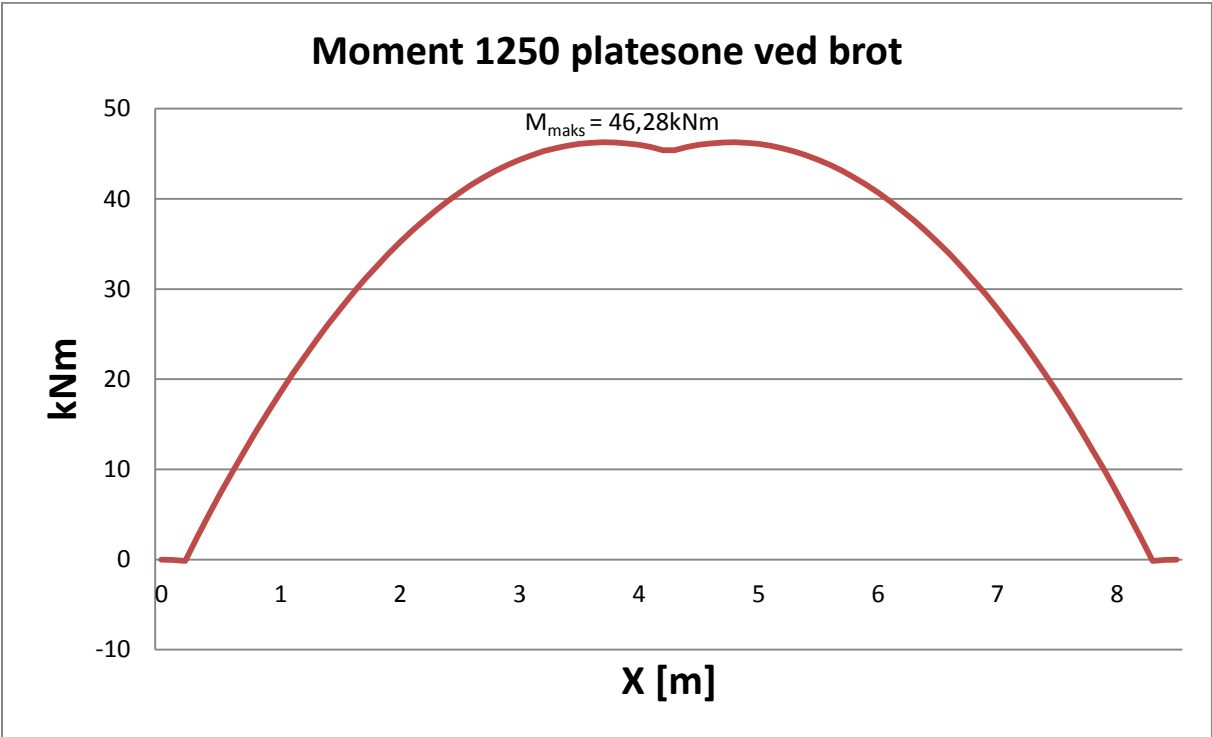
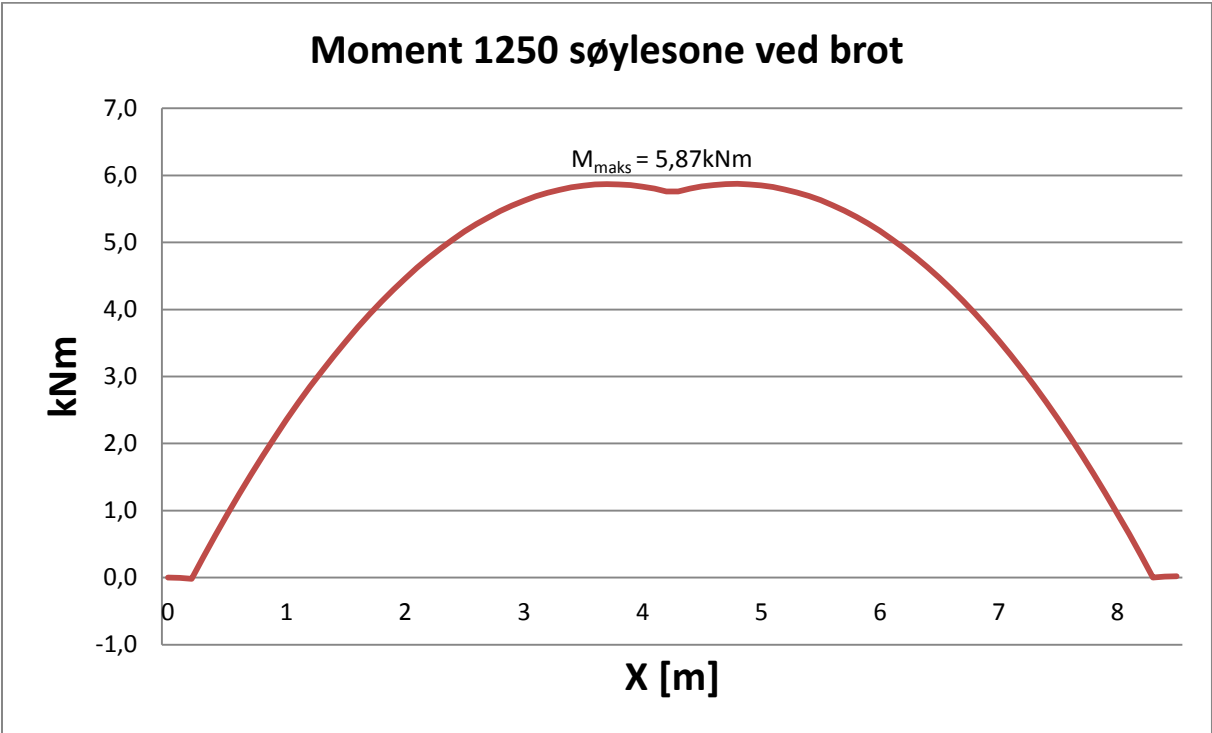
Resultata viser at elementa med fiberarmert yttersjikt bøyer seg meir enn elementet med armering i yttersjiktet. Det var også meir reststyrke i elementet med armeringsnett i yttersjiktet. Det var tri element av kvar type, og for kvar type var det to element som rissa med lik belastning medan det tredje resultatet var noko annleis. Dei følgjande momentdiagramma er laga utifrå dei to resultatata som var like og er dermed ikkje eit gjennomsnitt av alle tri elementa, men heller det som viste seg å vera mest vanleg. Momentdiagramma er også delt inn i søylesonane og platesonen. I tabellane er verdien for nedbøyinga der risset oppstod merka med raudt. For 1180-1 er dette ved 0mm nedbøying. Det er fordi dette rissa ved handtering. Dette viser at 1250 hadde god restkapasitet, 1220 hadde tilnærma 0 restkapasitet medan 1180 hadde litt restkapasitet. For tabellane som viser trykkfastleiken står «Y» for yttersjikt, «I» for innersjikt, «P» for prøvedag og «28» for 28-dagars fastleik.

1250

Jamn last [kN]	Punktlast [kN]	Nedbøying 1250-1 [mm]	Nedbøying 1250-2 [mm]	Nedbøying 1250-13 [mm]
0	0	0	0	0
5	0	3	4	4
10	0	4	5	7
15	0	8	8	9
20	0	10	8	11
25	0	13	12	16
30	0	17	19	24
35	0	29	29	26
40	0	42	41	36
40	2,5	50	45	48
40	5	59	49	54
40	7,5	70	62	64
40	10	82	70	77

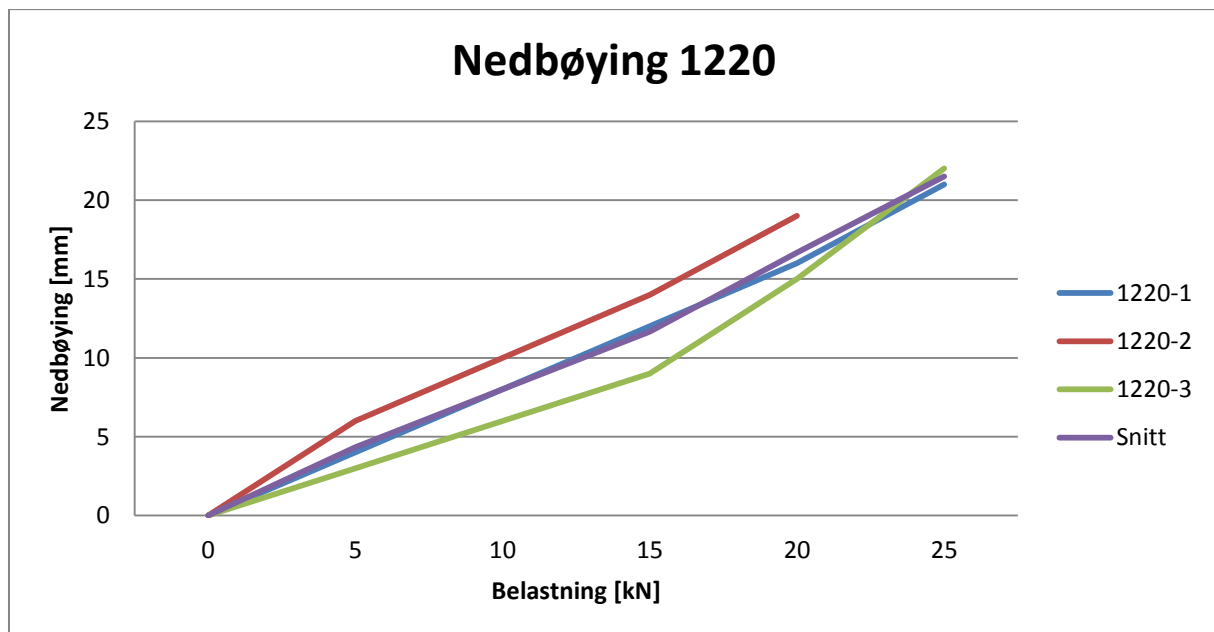


	1250 – 1	1250 – 2	1250 – 3	Snitt
Trykkfasthet PY [Mpa]	56,06	45,88	45,49	49,14
Trykkfasthet PI [Mpa]	62,78	44,48	50,28	52,51
Trykkfasthet 28Y [MPa]	61,59	49,81	49,94	53,78
Trykkfasthet 28I [MPa]	68,54	48,41	54,38	57,11
Rissavstand [m]	5,80	4,88	5,4	5,36
Fiber [g/3l]	-	-	-	



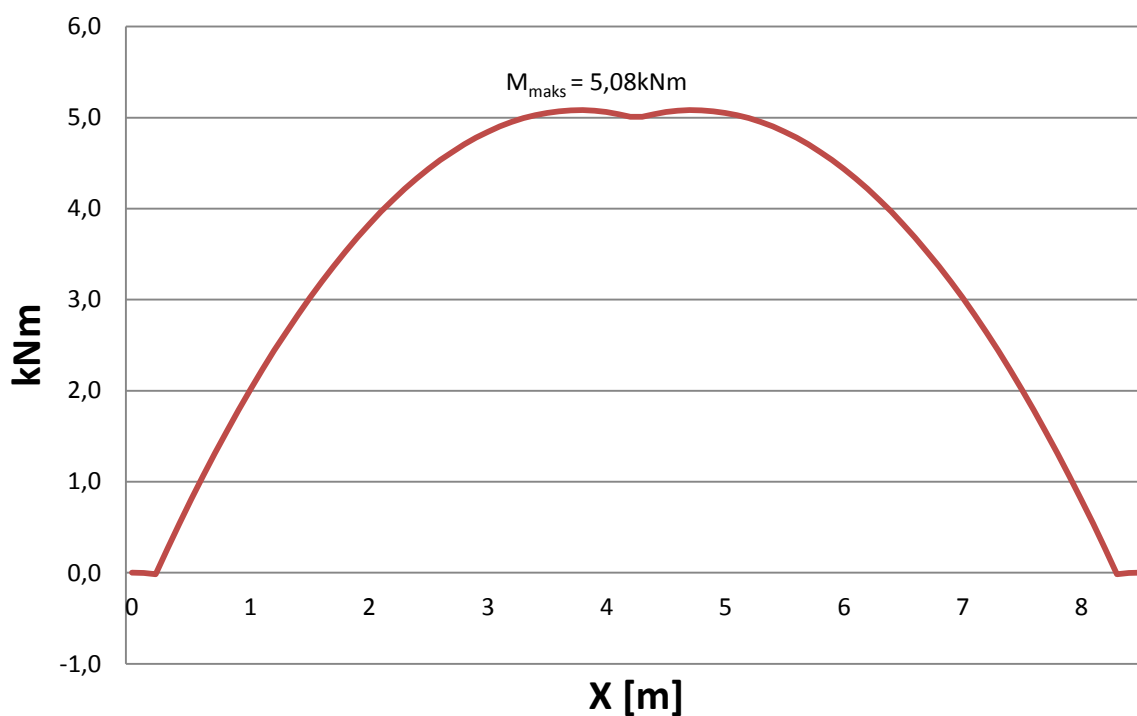
1220

Jamn last [kN]	Punktlast [kN]	Nedbøying 1220-1 [mm]	Nedbøying 1220-2 [mm]	Nedbøying 1220-13 [mm]
0	0	0	0	0
5	0	4	6	3
10	0	8	10	6
15	0	12	14	9
20	0	16	19	15
25	0	21		22

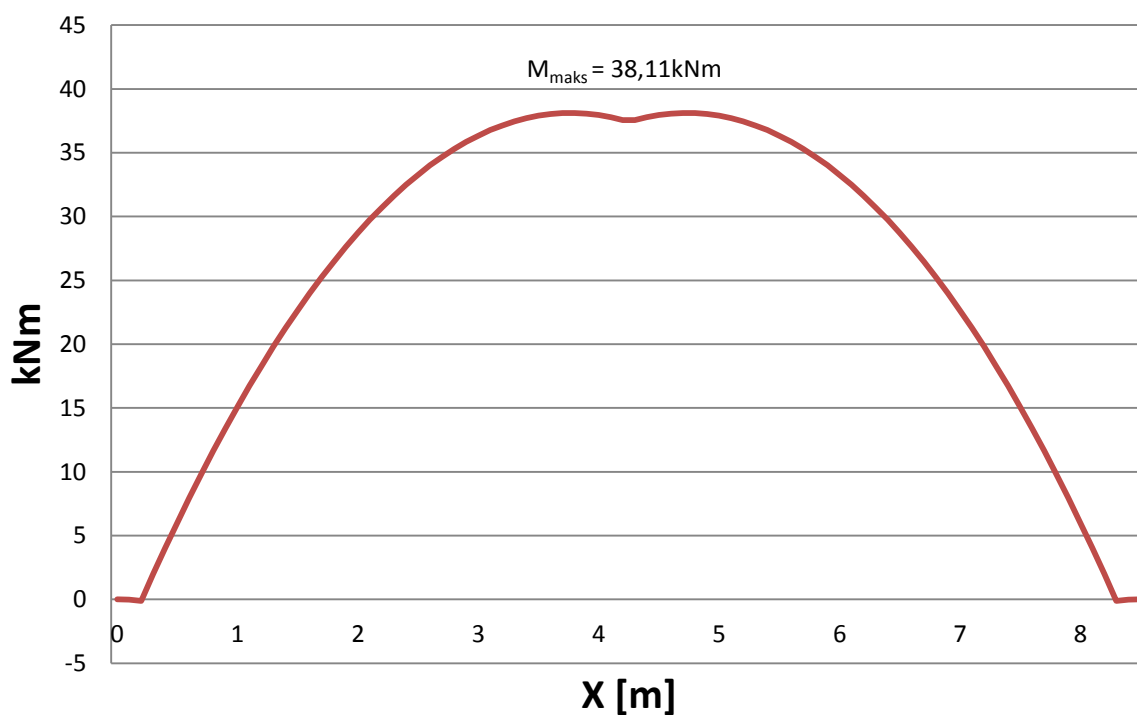


	1220 – 1	1220 – 2	1220 – 3	Snitt
Trykkfasthet PY [MPa]	44,59	47,40	44,94	45,64
Trykkfasthet PI [MPa]	50,82	50,75	50,89	50,82
Trykkfasthet 28Y [MPa]	46,52	53,71	48,84	49,69
Trykkfasthet 28I [MPa]	54,36	54,65	55,84	54,95
Rissavstand [m]	2,53	2,12	2,57	2,41
Fiber [g/3l]	48,0 – 45,2 – 49,5	58,8 – 62,6 – 60,0	65,8 – 65,8 – 57,0	57

Moment 1220 søylesone ved brot

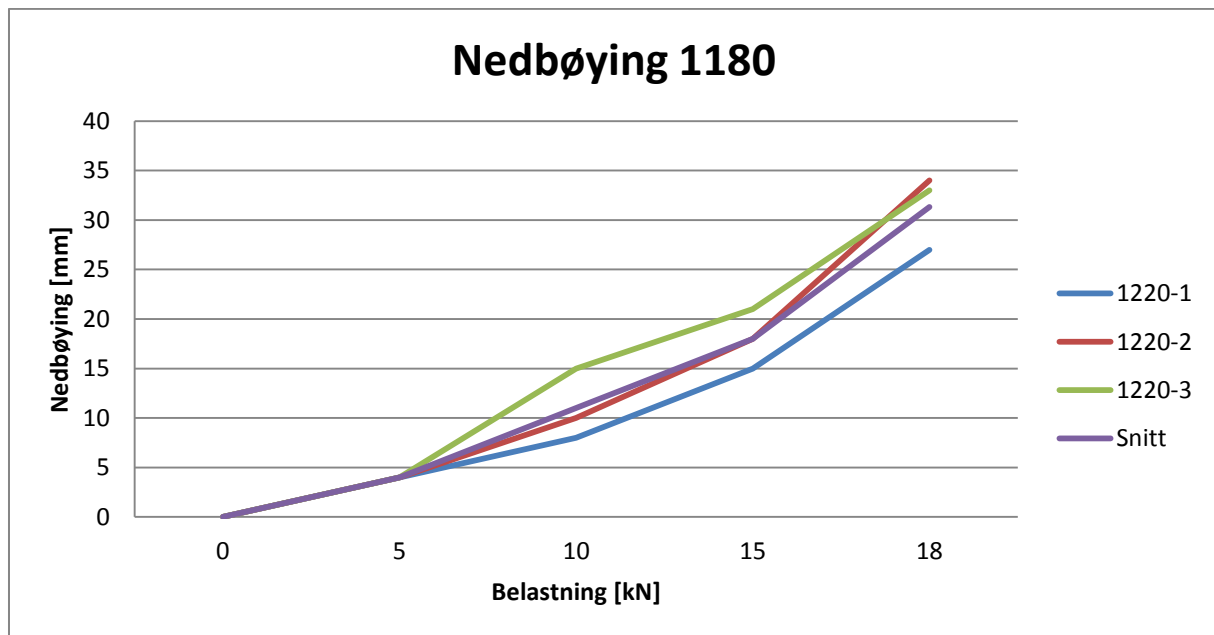


Moment 1220 platesone ved brot



1180

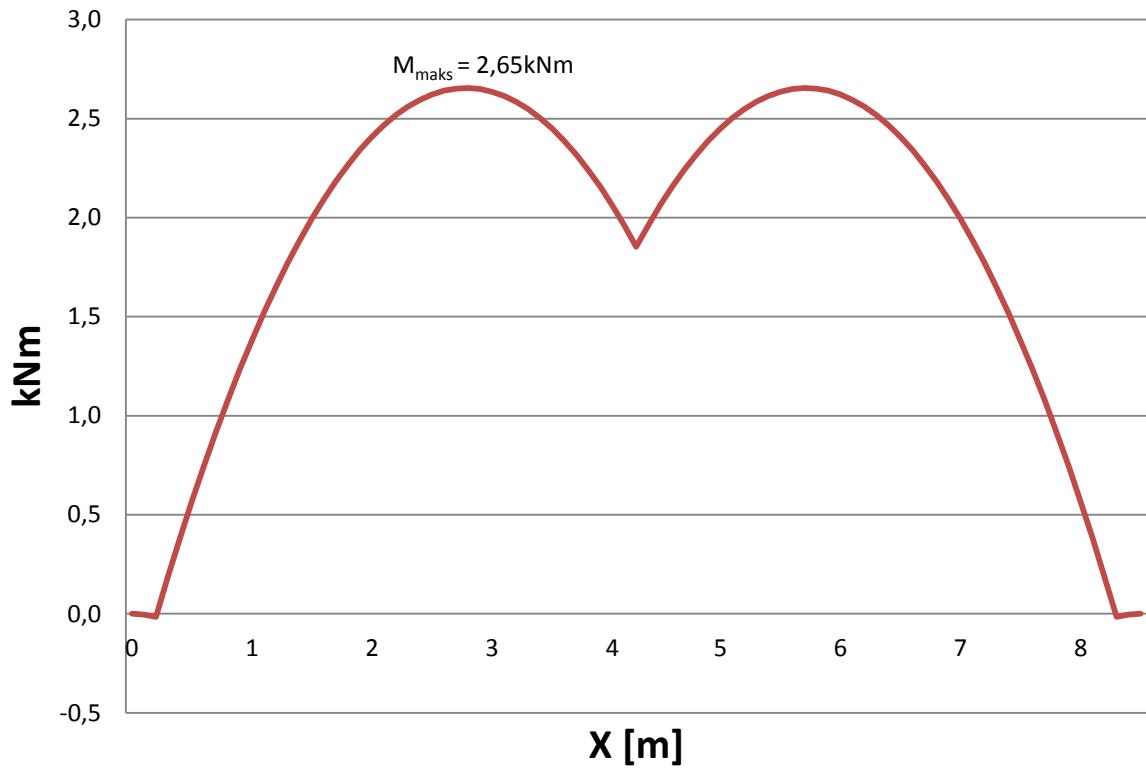
Jamn last [kN]	Punktlast [kN]	Nedbøying 1180-1 [mm]	Nedbøying 1180-2 [mm]	Nedbøying 1180-3 [mm]
0	0	0	0	0
5	0	4	4	4
10	0	8	10	15
15	0	15	18	21
20	0	27	34	33
25	0	0	0	0



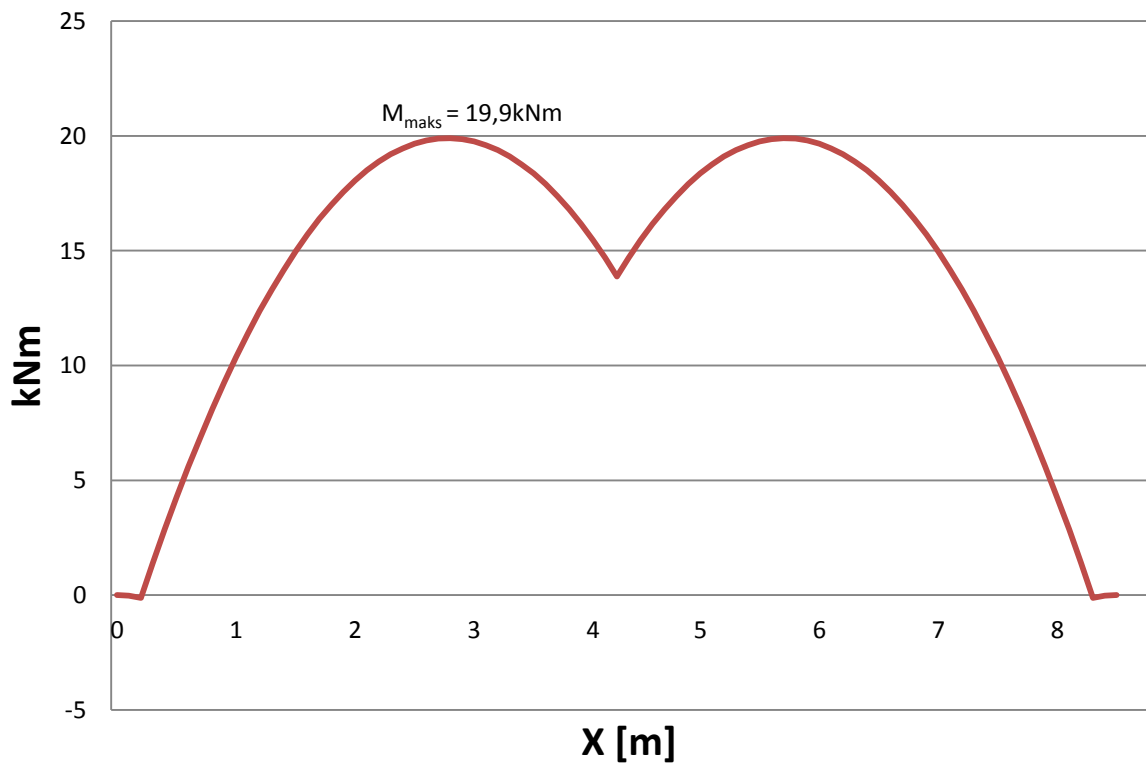
	1180 – 1	1180 – 2	1180 – 3	Snitt
Trykkfasthet PY [MPa]	33,18	39,00	38,66	36,95
Trykkfasthet PI [MPa]	45,74	46,25	47,19	46,39
Trykkfasthet 28Y [MPa]	35,39	41,85	41,07	39,44
Trykkfasthet 28I [MPa]	49,15	52,37	52,57	51,36
Rissavstand [m]	0	2,6	2,57	2,59*
Fiber [g/3l]	43,6 – 58,3 – 59,4	60,6 – 55,2 – 56,0	51,2 – 46,2 – 48,4	53,23

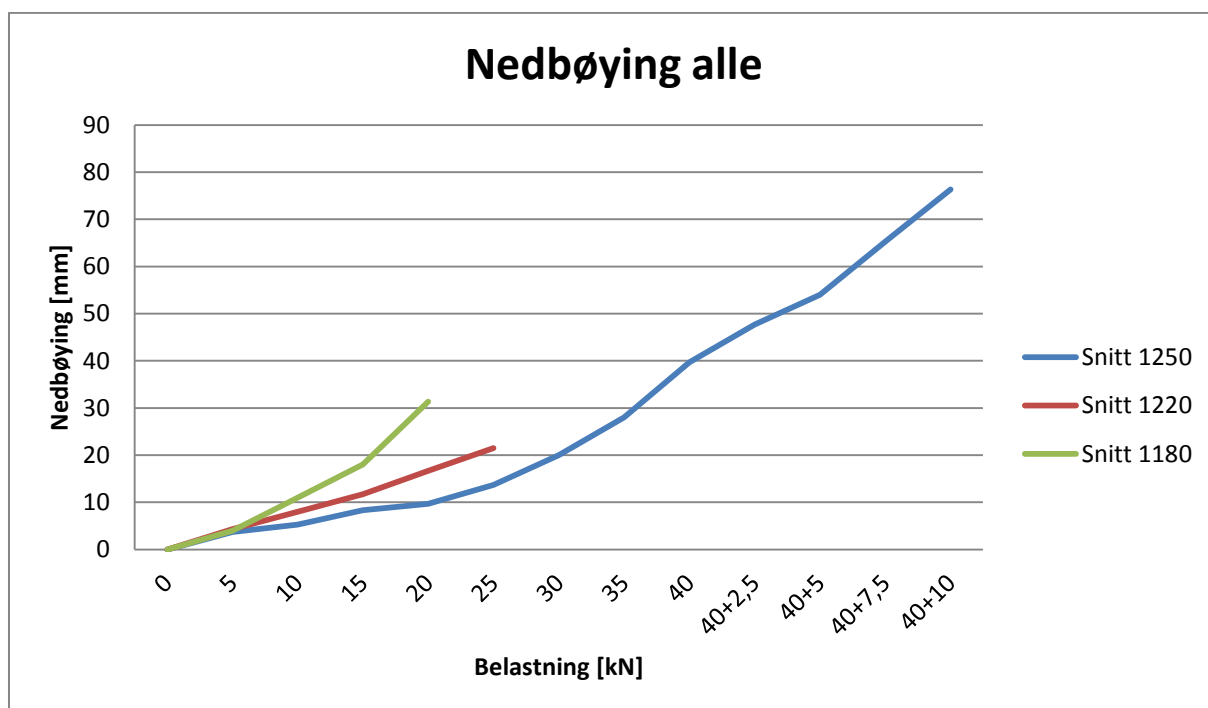
* Snittverdien er berre basert på 1180 – 2 og 1180 – 3.

Moment 1180 søylesone ved brot



Moment 1180 platesone ved brot





Reint bøyemoment

Ettersom MN-diagramma viser at den aksiale kapasiteten er svært mykje høgare enn det som elementa faktisk blir belasta med og maks momentkapasitet oppstår ved ei aksiallast langt over det som er antatt at elementa blir utsatt for, er det her utført ei berekning av kreftene som oppstår ved reint bøyemoment. Her er det i likskap med MN-diagramma gjort berekningar både for fullt samvirke og utan samvirke. Denne berekningsmetoden tar ikkje omsyn til armeringa, men fordeler påført moment på betongsjikta utifrå tjukkeleik og stivheit. Denne delen av analysen blei derfor utført etter at forsøka var ferdige ettersom det var nødvendig å vite kor stort moment elementa tok opp ved brot. Utifrå resultatata av desse berekningane skal det vera mogleg til ein viss grad å avgjere kor mykje samvirke det er i elementet **[13]**. Ein svakhet her er at denne analysen antar at begge betongsjikta har same E-modul. Resultat frå trykkprøvane viser at forskjellen i styrke mellom yttersjikt og innersjikt varierer mellom 5-10MPa. I tillegg har to av yttersjikta fiber som er med på å endre E-modulen. Dersom ein antar at E-modulen aukar med ca. 12% **[14]** for fiberarmert betong og samanliknar verdiane for E-modul gitt i EC2, gir dette ein forskjell i E-modul på berre ca. 2 GPa. Berekningane er utført i Maple.

> Berekning av moment i sandwichelement utan aksialkrefter

```
> restart:
Digits:=3:
#Antar at all betongen er tilnærma ein B35 betong og har same E-
modul på 34GPa
#Det vanlige symbolet for treighetsmoment, "I", er reservert i
Maple til komplekse tal. Derfor blir "J" nytta som symbol for
treighetsmoment.
Ec:=34;
```

$$E_c := 34 \quad (1)$$

Element 1250

Utan samvirke

```
> #Definerer først alle dei geometriske dimensjonane. [1] er
innersjikt i søylesonen. [2] er yttersjikt i søylesonen. [3] er
innersjikt i platesonen. [4] er yttersjikt i platesonen. b er
breidde og t er tjukkeleik.
```

```
b[1]:=200; t[1]:=110; b[2]:=200; t[2]:=80; b[3]:=2000; t[3]:=70;
b[4]:=2000; t[4]:=80;
```

$$b_1 := 200$$

$$t_1 := 110$$

$$b_2 := 200$$

$$t_2 := 80$$

$$b_3 := 2000$$

$$t_3 := 70$$

$$b_4 := 2000$$

$$t_4 := 80 \quad (2)$$

```
> #Regner ut last per meter for søylesonen, q[1], og for
platesonen, q[2].
```

```
q[1]:=0.2*0.19*2500/100; q[2]:=2*0.15*2500/100; l:=8.5;
```

$$q_1 := 0.950$$

$$q_2 := 7.50$$

$$l := 8.5 \quad (3)$$

```
#Regner ut treighetsmomentet for begge sjikta i begge sonane.
```

```
J[1]:=b[1]*t[1]^3/12;  
J[2]:=b[2]*t[2]^3/12;  
J[3]:=b[3]*t[3]^3/12;  
J[4]:=b[4]*t[4]^3/12;  
Listel:=[J[1],J[2],J[3],J[4]]:  
evalf(Listel);
```

$$J_1 := \frac{66550000}{3}$$

$$J_2 := \frac{6250000}{3}$$

$$J_3 := \frac{171500000}{3}$$

$$J_4 := \frac{62500000}{3}$$

[2.22 10⁷, 2.08 10⁶, 5.72 10⁷, 2.08 10⁷]

(4)

```
> #Regner deretter ut motstandsmoment.
```

```
S[1]:=b[1]*t[1]^2/6;  
S[2]:=b[2]*t[2]^2/6;  
S[3]:=b[3]*t[3]^2/6;  
S[4]:=b[4]*t[4]^2/6;  
Liste2:=[S[1],S[2],S[3],S[4]]:  
evalf(Liste2);
```

$$S_1 := \frac{1210000}{3}$$

$$S_2 := \frac{640000}{3}$$

$$S_3 := \frac{4900000}{3}$$

$$S_4 := \frac{6400000}{3}$$

[4.03 10⁵, 2.13 10⁵, 1.63 10⁶, 2.13 10⁶]

(5)

```
> #Veggen ligg på tri opplager med 0,2m utkraging i kvar ende. Maks  
moment oppstår to plasser like langt frå opplageret i midten.  
Rekner her ut maks momentet "til venstre" for opplageret i  
midten. R[1] og R[2] er reaksjonskrafta i det ytste opplager for  
hvh. søylesonen og platesonen. R[1], R[2] og x er regnet ut på  
forhand. Sjå beskrivelsen i kapittelet "Eksperimentelt"
```

```
#For søylesonen får me:  
R[1]:=3.535:  
#For platesonen får me:  
R[2]:=27.89:  
x:=3.7: #Det andre maks momentet ligg i x=4.8
```

```
M[12]:=(R[1]*(x-0.2))-(q[1]*(x^2/2));  
M[34]:=(R[2]*(x-0.2))-(q[2]*(x^2/2));
```

$$M_{12} := 5.90$$

$$M_{34} := 46.1$$

(6)

> #Fordeler ytre moment på elementet etter E-modul og treighetsmoment.

```
M[1] := (Ec*J[1]) / (Ec*J[1]+Ec*J[2]) *M[12];
M[2] := (Ec*J[2]) / (Ec*J[1]+Ec*J[2]) *M[12];
M[3] := (Ec*J[3]) / (Ec*J[3]+Ec*J[4]) *M[34];
M[4] := (Ec*J[4]) / (Ec*J[3]+Ec*J[4]) *M[34];
Liste3:= [M[1],M[2],M[3],M[4]]:
evalf(Liste3):
```

$$M_1 := 4.26$$

$$M_2 := 1.64$$

$$M_3 := 18.5$$

$$M_4 := 27.6$$

(7)

> #Regner ut spenning i innersjikt søylesone, sigma[1], yttersjikt søylesone, sigma[2], innersjikt platesone[3] og yttersjikt platesone[4].

```
sigma[1] := (M[1]/S[1])*1e6;
sigma[2] := (M[2]/S[2])*1e6;
sigma[3] := (M[3]/S[3])*1e6;
sigma[4] := (M[4]/S[4])*1e6;
Liste4:= [sigma[1],sigma[2],sigma[3],sigma[4]]:
evalf(Liste4):
```

$$\sigma_1 := 10.6$$

$$\sigma_2 := 7.69$$

$$\sigma_3 := 11.3$$

$$\sigma_4 := 12.9$$

(8)

Med samvirke

>

#Definerer først alle dei geometriske dimensjonane. [1] er innersjikt i søylesonen. [2] er yttersjikt i søylesonen. [3] er innersjikt i platesonen. [4] er yttersjikt i platesonen. b er breidde og t er tjukkleik. y er avstand frå elementets nøytralaksen til betongsjikt sine respektive nøytralakser. c er avstand frå elementets nøytralakse til ytterkant av betongsjikt.

```
b[1]:=200; t[1]:=110; b[2]:=200; t[2]:=80; b[3]:=2000; t[3]:=70;
b[4]:=2000; t[4]:=80;
y[1]:=40; y[2]:=115; y[3]:=140; y[4]:=35; c[1]:=95; c[2]:=155; c[3]:=175; c[4]:=75;
```

```

b1 := 200
t1 := 110
b2 := 200
t2 := 80
b3 := 2000
t3 := 70
b4 := 2000
t4 := 80
y1 := 40
y2 := 115
y3 := 140
y4 := 35
c1 := 95
c2 := 155
c3 := 175
c4 := 75

```

(9)

```
> #Regner ut last per meter for søylesonen, q[1], og for
platesonen, q[2].
```

```

q[1] := 0.2 * 0.19 * 2500 / 100; q[2] := 2 * 0.15 * 2500 / 100; l := 8.5;
q1 := 0.950
q2 := 7.50
l := 8.5

```

(10)

```
> #Regner ut treighetsmomentet for begge sonane.
```

```

J[1] := (b[1] * t[1]^3 / 12) + (b[1] * t[1] * y[1]^2) + (b[2] * t[2]^3 / 12) + (b[2] *
t[2] * y[2]^2);
J[2] := (b[3] * t[3]^3 / 12) + (b[3] * t[3] * y[3]^2) + (b[4] * t[4]^3 / 12) + (b[4] *
t[4] * y[4]^2);
Listel := [J[1], J[2]];
evalf(Listel);

```

$$J_1 := \frac{832550000}{3}$$

$$J_2 := 3082500000$$

$$[2.78 \cdot 10^8, 3.08 \cdot 10^9]$$

(11)

```
> #Regner deretter ut motstandsmoment for begge sjikta i begge
sonane.
```

```

S[1] := J[1] / c[1];
S[2] := J[1] / c[2];
S[3] := J[2] / c[3];
S[4] := J[2] / c[4];

```

```
Liste2:=[S[1],S[2],S[3],S[4]]:
evalf(Liste2);
```

$$S_1 := \frac{166510000}{57}$$

$$S_2 := \frac{166510000}{93}$$

$$S_3 := \frac{123300000}{7}$$

$$S_4 := 41100000$$

$$[2.92 \cdot 10^6, 1.79 \cdot 10^6, 1.76 \cdot 10^7, 4.11 \cdot 10^7] \quad (12)$$

```
> ##Veggen ligg på tri opplager med 0,2m utkraging i kvar ende.Maks
moment oppstår to plasser like langt frå opplageret i midten.
Rekner her ut maks momentet "til venstre" for opplageret i
midten. R[1] og R[2] er reaksjonskrafta i det ytste opplager for
hhv. søylesonen og platesonen. R[1], R[2] og x er regnet ut på
forhand. Sjå beskrivelsen i kapittelet "Eksperimentelt"
```

```
#For søylesonen får me:
R[1]:=3.535:
#For platesonen får me:
R[2]:=27.89:
x:=3.7: #Andre maks momentet ligg i x=4.8
```

```
M[12]:=(R[1]*(x-0.2))-(q[1]*(x^2/2));
```

```
M[34]:=(R[2]*(x-0.2))-(q[2]*(x^2/2));
```

$$M_{12} := 5.90$$

$$M_{34} := 46.1$$

(13)

```
> #Regner ut spenning ytterst i innersjikt søylesone, sigma[1],
ytterst i yttersjikt søylesone, sigma[2], ytterst i innersjikt
platesone[3] og ytterst i yttersjikt platesone[4].
```

```
sigma[1]:=(M[12]/S[1])*1e6;
```

```
sigma[2]:=(M[12]/S[2])*1e6;
```

```
sigma[3]:=(M[34]/S[3])*1e6;
```

```
sigma[4]:=(M[34]/S[4])*1e6;
```

```
Liste4:=[sigma[1],sigma[2],sigma[3],sigma[4]]:
```

```
evalf(Liste4):
```

$$\sigma_1 := 2.02$$

$$\sigma_2 := 3.30$$

$$\sigma_3 := 2.62$$

$$\sigma_4 := 1.12$$

(14)

Element 1220

Utan samvirke

```
> #Definerer først alle dei geometriske dimensjonane. [1] er  
innersjikt i søylesonen. [2] er yttersjikt i søylesonen. [3] er  
innersjikt i platesonen. [4] er yttersjikt i platesonen. b er  
breidde og t er tjukkeleik.
```

```
b[1]:=200; t[1]:=110; b[2]:=200; t[2]:=50; b[3]:=2000; t[3]:=70;  
b[4]:=2000; t[4]:=50;
```

$$b_1 := 200$$

$$t_1 := 110$$

$$b_2 := 200$$

$$t_2 := 50$$

$$b_3 := 2000$$

$$t_3 := 70$$

$$b_4 := 2000$$

$$t_4 := 50$$

(15)

```
> #Regner ut last per meter for søylesonen, q[1], og for  
platesonen, q[2].
```

```
q[1]:=0.2*0.16*2500/100; q[2]:=2*0.12*2500/100; l:=8.5;
```

$$q_1 := 0.800$$

$$q_2 := 6.00$$

$$l := 8.5$$

(16)

```
> #Regner ut treighetsmomentet for begge sjikta i begge sonane.
```

```
J[1]:=b[1]*t[1]^3/12;  
J[2]:=b[2]*t[2]^3/12;  
J[3]:=b[3]*t[3]^3/12;  
J[4]:=b[4]*t[4]^3/12;  
Listel:=[J[1],J[2],J[3],J[4]]:  
evalf(Listel);
```

$$J_1 := \frac{66550000}{3}$$

$$J_2 := \frac{6250000}{3}$$

$$J_3 := \frac{171500000}{3}$$

$$J_4 := \frac{62500000}{3}$$

$$[2.22 \cdot 10^7, 2.08 \cdot 10^6, 5.72 \cdot 10^7, 2.08 \cdot 10^7]$$

(17)

```
#Regner deretter ut motstandsmoment.
```

```
S[1]:=b[1]*t[1]^2/6;  
S[2]:=b[2]*t[2]^2/6;  
S[3]:=b[3]*t[3]^2/6;  
S[4]:=b[4]*t[4]^2/6;  
Liste2:=[S[1],S[2],S[3],S[4]]:  
evalf(Liste2);
```

$$S_1 := \frac{1210000}{3}$$

$$S_2 := \frac{250000}{3}$$

$$S_3 := \frac{4900000}{3}$$

$$S_4 := \frac{2500000}{3}$$

[4.03 10⁵, 83300., 1.63 10⁶, 8.33 10⁵]

(18)

```
> #Veggen ligg på tri opplager med 0,2m utkraging i kvar ende.Maks moment oppstår to plasser like langt frå opplageret i midten. Rekner her ut maks momentet "til venstre" for opplageret i midten. R[1] og R[2] er reaksjonskrafta i det ytste opplager for hhv. søylesonen og platesonen. R[1], R[2] og x er regnet ut på forhand. Sjå beskrivelsen i kapittelet "Eksperimentelt"
```

```
#For søylesonen får me:  
R[1]:=3.016:  
#For platesonen får me:  
R[2]:=22.62:  
x:=3.8: #Andre maks momentet ligg i x=4.7
```

```
M[12]:=(R[1]*(x-0.2))-(q[1]*(x^2/2));  
M[34]:=(R[2]*(x-0.2))-(q[2]*(x^2/2));
```

$$M_{12} := 5.15$$

$$M_{34} := 38.2$$

(19)

```
> #Fordeler ytre moment på elementet etter E-modul og treighetsmoment.
```

```
M[1]:=((Ec*J[1])/(Ec*J[1]+Ec*J[2]))*M[12];  
M[2]:=((Ec*J[2])/(Ec*J[1]+Ec*J[2]))*M[12];  
M[3]:=((Ec*J[3])/(Ec*J[3]+Ec*J[4]))*M[34];  
M[4]:=((Ec*J[4])/(Ec*J[3]+Ec*J[4]))*M[34];  
Liste3:=[M[1],M[2],M[3],M[4]]:  
evalf(Liste3):
```

$$M_1 := 4.71$$

$$M_2 := 0.442$$

$$M_3 := 28.0$$

$$M_4 := 10.2$$

(20)


```
#Regner ut spenning i innersjikt søylesone, sigma[1], yttersjikt
søylesone, sigma[2], innersjikt platesone[3] og yttersjikt
platesone[4].
```

```
sigma[1]:= (M[1]/S[1])*1e6;
sigma[2]:= (M[2]/S[2])*1e6;
sigma[3]:= (M[3]/S[3])*1e6;
sigma[4]:= (M[4]/S[4])*1e6;
Liste4:= [sigma[1],sigma[2],sigma[3],sigma[4]]:
evalf(Liste4):
```

$$\sigma_1 := 11.7$$

$$\sigma_2 := 5.30$$

$$\sigma_3 := 17.1$$

$$\sigma_4 := 12.2$$

(21)

Med samvirke

```
> #Definerer først alle dei geometriske dimensjonane. [1] er
innersjikt i søylesonen. [2] er yttersjikt i søylesonen. [3] er
innersjikt i platesonen. [4] er yttersjikt i platesonen. b er
breidde og t er tjukkleik. y er avstand frå elementets
nøytralaksen til betongsjikta sine respektive nøytralakser. c er
avstand frå elementets nøytralakse til ytterkant av betongsjikta.
```

```
b[1]:=200; t[1]:=110; b[2]:=200; t[2]:=50; b[3]:=2000; t[3]:=70;
b[4]:=2000; t[4]:=50;
y[1]:=25; y[2]:=115; y[3]:=25; y[4]:=135; c[1]:=80; c[2]:=140; c
[3]:=60; c[4]:=160;
```

$$b_1 := 200$$

$$t_1 := 110$$

$$b_2 := 200$$

$$t_2 := 50$$

$$b_3 := 2000$$

$$t_3 := 70$$

$$b_4 := 2000$$

$$t_4 := 50$$

$$y_1 := 25$$

$$y_2 := 115$$

$$y_3 := 25$$

$$y_4 := 135$$

$$c_1 := 80$$

$$c_2 := 140$$

$$\begin{aligned}c_3 &:= 60 \\c_4 &:= 160\end{aligned}\tag{22}$$

> #Regner ut last per meter for søylesonen, q[1], og for platesonen, q[2].

$$\begin{aligned}q[1] &:= 0.2 * 0.16 * 2500 / 100; \quad q[2] := 2 * 0.12 * 2500 / 100; \quad l := 8.5; \\q_1 &:= 0.800 \\q_2 &:= 6.00 \\l &:= 8.5\end{aligned}\tag{23}$$

> #Regner ut treighetsmomentet for begge sonane.

```
J[1] := (b[1]*t[1]^3/12) + (b[1]*t[1]*y[1]^2) + (b[2]*t[2]^3/12) + (b[2]*t[2]*y[2]^2);
J[2] := (b[3]*t[3]^3/12) + (b[3]*t[3]*y[3]^2) + (b[4]*t[4]^3/12) + (b[4]*t[4]*y[4]^2);
Listel := [J[1], J[2]];
evalf(Listel);
```

$$\begin{aligned}J_1 &:= \frac{510800000}{3} \\J_2 &:= 1988000000 \\&[1.70 \cdot 10^8, 1.99 \cdot 10^9]\end{aligned}\tag{24}$$

> #Regner deretter ut motstandsmoment for begge sjikta i begge sonane.

```
S[1] := J[1]/c[1];
S[2] := J[1]/c[2];
S[3] := J[2]/c[3];
S[4] := J[2]/c[4];
Liste2 := [S[1], S[2], S[3], S[4]];
evalf(Liste2);
```

$$\begin{aligned}S_1 &:= \frac{6385000}{3} \\S_2 &:= \frac{25540000}{21} \\S_3 &:= \frac{99400000}{3} \\S_4 &:= 12425000 \\&[2.13 \cdot 10^6, 1.22 \cdot 10^6, 3.31 \cdot 10^7, 1.24 \cdot 10^7]\end{aligned}\tag{25}$$

> #Veggen ligg på tri opplager med 0,2m utkraging i kvar ende. Maks moment oppstår to plasser like langt frå opplageret i midten. Rekner her ut maks momentet "til venstre" for opplageret i midten. R[1] og R[2] er reaksjonskrafta i det yteste opplager for hhv. søylesonen og platesonen. R[1], R[2] og x er regnet ut på forhand. Sjå beskrivelsen i kapittelet "Eksperimentelt"

```

#For søylesonen får me:
R[1]:=3.016:
#For platesonen får me:
R[2]:=22.62:
x:=3.8: #Andre maks momentet ligg i x=4.7

M[12]:=(R[1]*(x-0.2))-(q[1]*(x^2/2));
M[34]:=(R[2]*(x-0.2))-(q[2]*(x^2/2));

M12:=5.15
M34:=38.2

```

(26)

```

> #Regner ut spenning ytterst i innersjikt søylesone, sigma[1],
ytterst i yttersjikt søylesone, sigma[2], ytterst i innersjikt
platesone[3] og ytterst i yttersjikt platesone[4].

```

```

sigma[1]:=(M[12]/S[1])*1e6;
sigma[2]:=(M[12]/S[2])*1e6;
sigma[3]:=(M[34]/S[3])*1e6;
sigma[4]:=(M[34]/S[4])*1e6;
Liste4:=[sigma[1],sigma[2],sigma[3],sigma[4]]:
evalf(Liste4):

```

$\sigma_1 := 2.42$

$\sigma_2 := 4.23$

$\sigma_3 := 1.15$

$\sigma_4 := 3.08$

(27)

Element 1180

Utan samvirke

```

> #Definerer først alle dei geometriske dimensjonane. [1] er
innersjikt i søylesonen. [2] er yttersjikt i søylesonen. [3] er
innersjikt i platesonen. [4] er yttersjikt i platesonen. b er
breidde og t er tjukkeleik.

```

```

b[1]:=200; t[1]:=110; b[2]:=200; t[2]:=50; b[3]:=2000; t[3]:=70;
b[4]:=2000; t[4]:=50;

```

$b_1 := 200$

$t_1 := 110$

$b_2 := 200$

$t_2 := 50$

$b_3 := 2000$

$t_3 := 70$

$b_4 := 2000$

$t_4 := 50$

(28)

```

> #Regner ut last per meter for søylesonen, q[1], og for
platesonen, q[2].

q[1]:=0.2*0.16*2500/100; q[2]:=2*0.12*2500/100; l:=8.5;
      q1:=0.800
      q2:=6.00
      l:=8.5

```

(29)

```

> #Regner ut treighetsmomentet for begge sjikta i begge sonane.

```

```

J[1]:=b[1]*t[1]^3/12;
J[2]:=b[2]*t[2]^3/12;
J[3]:=b[3]*t[3]^3/12;
J[4]:=b[4]*t[4]^3/12;
Liste1:=[J[1],J[2],J[3],J[4]];
evalf(Liste1);

```

$$J_1 := \frac{66550000}{3}$$

$$J_2 := \frac{6250000}{3}$$

$$J_3 := \frac{171500000}{3}$$

$$J_4 := \frac{62500000}{3}$$

$$[2.22 \cdot 10^7, 2.08 \cdot 10^6, 5.72 \cdot 10^7, 2.08 \cdot 10^7]$$

(30)

```

> #Regner deretter ut motstandsmoment.

```

```

S[1]:=b[1]*t[1]^2/6;
S[2]:=b[2]*t[2]^2/6;
S[3]:=b[3]*t[3]^2/6;
S[4]:=b[4]*t[4]^2/6;
Liste2:=[S[1],S[2],S[3],S[4]];
evalf(Liste2);

```

$$S_1 := \frac{1210000}{3}$$

$$S_2 := \frac{250000}{3}$$

$$S_3 := \frac{4900000}{3}$$

$$S_4 := \frac{2500000}{3}$$

$$[4.03 \cdot 10^5, 83300., 1.63 \cdot 10^6, 8.33 \cdot 10^5]$$

(31)

```

> #Veggen ligg på tri opplager med 0,2m utkraging i kvar ende.Maks
moment oppstår to plasser like langt frå opplageret i midten.
Rekner her ut maks momentet "til venstre" for opplageret i
midten. R[1] og R[2] er reaksjonskrafta i det ytste opplager for
hvh. søylesonen og platesonen. R[1], R[2] og x er regnet ut på
forhand. Sjå beskrivelsen i kapittelet "Eksperimentelt"

```

```
#For søylesonen får me:
R[1]:=2.227:
#For platesonen får me:
R[2]:=16.7:
x:=2.8: #Andre maks momentet ligg i x=5.7
```

```
M[12]:= (R[1]*(x-0.2)) - (q[1]*(x^2/2));
M[34]:= (R[2]*(x-0.2)) - (q[2]*(x^2/2));
```

$$M_{12} := 2.66$$

$$M_{34} := 19.9$$

(32)

```
> #Fordeler ytre moment på elementet etter E-modul og treighetsmoment.
```

```
M[1]:= (Ec*J[1]) / (Ec*J[1]+Ec*J[2]) *M[12];
M[2]:= (Ec*J[2]) / (Ec*J[1]+Ec*J[2]) *M[12];
M[3]:= (Ec*J[3]) / (Ec*J[3]+Ec*J[4]) *M[34];
M[4]:= (Ec*J[4]) / (Ec*J[3]+Ec*J[4]) *M[34];
Liste3:= [M[1],M[2],M[3],M[4]];
evalf(Liste3):
```

$$M_1 := 2.43$$

$$M_2 := 0.228$$

$$M_3 := 14.6$$

$$M_4 := 5.32$$

(33)

```
> #Regner ut spenning i innersjikt søylesone, sigma[1], yttersjikt søylesone, sigma[2], innersjikt platesone[3] og yttersjikt platesone[4].
```

```
sigma[1]:= (M[1]/S[1])*1e6;
sigma[2]:= (M[2]/S[2])*1e6;
sigma[3]:= (M[3]/S[3])*1e6;
sigma[4]:= (M[4]/S[4])*1e6;
Liste4:= [sigma[1],sigma[2],sigma[3],sigma[4]];
evalf(Liste4):
```

$$\sigma_1 := 6.02$$

$$\sigma_2 := 2.74$$

$$\sigma_3 := 8.94$$

$$\sigma_4 := 6.38$$

(34)

Med samvirke

```
> #Definerer først alle dei geometriske dimensjonane. [1] er innersjikt i søylesonen. [2] er yttersjikt i søylesonen. [3] er innersjikt i platesonen. [4] er yttersjikt i platesonen. b er breidde og t er tjukkeik. y er avstand frå elementets nøytralaksen til betongsjikta sine respektive nøytralakser. c er avstand frå elementets nøytralakse til ytterkant av betongsjikta.
```

```

b[1]:=200; t[1]:=110; b[2]:=200; t[2]:=50; b[3]:=2000; t[3]:=70;
b[4]:=2000; t[4]:=50;
y[1]:=25; y[2]:=75; y[3]:=25; y[4]:=95; c[1]:=80; c[2]:=100; c[3]
:=60; c[4]:=120;

```

```

      b1 := 200
      t1 := 110
      b2 := 200
      t2 := 50
      b3 := 2000
      t3 := 70
      b4 := 2000
      t4 := 50
      y1 := 25
      y2 := 75
      y3 := 25
      y4 := 95
      c1 := 80
      c2 := 100
      c3 := 60
      c4 := 120

```

(35)

```

> #Regner ut last per meter for søylesonen, q[1], og for
platesonen, q[2].

```

```

q[1]:=0.2*0.16*2500/100; q[2]:=2*0.12*2500/100; l:=8.5;
      q1 := 0.800
      q2 := 6.00
      l := 8.5

```

(36)

```

> #Regner ut treighetsmomentet for begge sonane.

```

```

J[1]:=(b[1]*t[1]^3/12)+(b[1]*t[1]*y[1]^2)+(b[2]*t[2]^3/12)+(b[2]*
t[2]*y[2]^2);
J[2]:=(b[3]*t[3]^3/12)+(b[3]*t[3]*y[3]^2)+(b[4]*t[4]^3/12)+(b[4]*
t[4]*y[4]^2);
Listel:=[J[1],J[2]];
evalf(Listel);

```

```

      J1 :=  $\frac{282800000}{3}$ 
      J2 := 1068000000
      [9.43 107, 1.07 109]

```

(37)

```
#Regner deretter ut motstandsmoment for begge sjikta i begge sonane.
```

```
S[1]:=J[1]/c[1];
S[2]:=J[1]/c[2];
S[3]:=J[2]/c[3];
S[4]:=J[2]/c[4];
Liste2:=[S[1],S[2],S[3],S[4]]:
evalf(Liste2);
```

$$S_1 := \frac{3535000}{3}$$

$$S_2 := \frac{2828000}{3}$$

$$S_3 := 17800000$$

$$S_4 := 8900000$$

$$[1.18 \cdot 10^6, 9.43 \cdot 10^5, 1.78 \cdot 10^7, 8.90 \cdot 10^6] \quad (38)$$

```
> #Veggen ligg på tri opplager med 0,2m utkraging i kvar ende.Maks moment oppstår to plasser like langt frå opplageret i midten. Rekner her ut maks momentet "til venstre" for opplageret i midten. R[1] og R[2] er reaksjonskrafta i det ytste opplager for hhv. søylesonen og platesonen. R[1], R[2] og x er regnet ut på forhand. Sjå beskrivelsen i kapittelet "Eksperimentelt"
```

```
#For søylesonen får me:
R[1]:=2.227:
#For platesonen får me:
R[2]:=16.7:
x:=2.8: #Andre maks momentet ligg i x=5.7
```

```
M[12]:=(R[1]*(x-0.2))-(q[1]*(x^2/2));
M[34]:=(R[2]*(x-0.2))-(q[2]*(x^2/2));
```

$$M_{12} := 2.66$$

$$M_{34} := 19.9$$

(39)

```
> #Regner ut spenning ytterst i innersjikt søylesone, sigma[1], ytterst i yttersjikt søylesone, sigma[2], ytterst i innersjikt platesone[3] og ytterst i yttersjikt platesone[4].
```

```
sigma[1]:=(M[12]/S[1])*1e6;
sigma[2]:=(M[12]/S[2])*1e6;
sigma[3]:=(M[34]/S[3])*1e6;
sigma[4]:=(M[34]/S[4])*1e6;
Liste4:=[sigma[1],sigma[2],sigma[3],sigma[4]]:
evalf(Liste4):
```

$$\sigma_1 := 2.26$$

$$\sigma_2 := 2.82$$

$$\sigma_3 := 1.12$$

$$\sigma_4 := 2.24$$

(40)

Diskusjon

Utføring av forsøka.

Det er ein klar svakhet i forsøket ved at elementa blei testa liggande. I praktisk bruk vil dei alltid vera ståande. Dette gjer at i forsøket bæerte ikkje elementet eigenvekta si i aksialretning, noko det vil måtte gjera i verkeleg bruk. Når elementet ligg vil tyngdekrafta automatisk sørge for at begge sjikta blir påverka samstundes og dermed tvinge fram ein form for samvirke. I verkelegheita vil vinden, enten det er trykk eller sug, verke på det eine sjiktet først og deretter på det andre sjiktet når kreftene er blitt overført. Under forsøket var det yttersjiktet som låg nedpå opplegga. I eit faktisk byggverk vil det vera innersjiktet som er festa til resten av konstruksjonen medan yttersjiktet berre heng på. I likskap med i eit byggverk blei den påførte aksiallasta også i forsøket påført gjennom innersjiktet. Det kan likevel ha hendt at denne aksiallasta ikkje var stabil medan elementet bøygde seg. Ho blei sjekka fleire gonger og det blei registrert at ho ikkje alltid viste 4 tonn.

Påføring av momentlast blei heller ikkje ei avspiegling av verkelegheita. Det tredje opplegget som blei nytta i midten av elementet vil ikkje vera tilstade i reell bruk. I eit faktisk byggverk vil heile veggjen vera tilnærma fritt opplagt med to opplegg. Dette vil gi ei momentfordeling som avviker noko frå det som blei tilfellet med forsøka. Påføringa av last blei gjort ved å heise ned opplegget i midten og dette gav små rykk i elementet som kan ha påført laster som ikkje blei målt og som ikkje vil bli påført i praksis. Forsøka blei også utført etter at elementa hadde herda i høvesvis 12, 13 og 14 dagar. Som resultat viser har dette ført til at betongen ikkje har nådd 28 dagars fasthet, noko han vil ha når han står ferdig montert på bygget.

I eit byggverk vil det stå fleire veggjar inntil kvarandre og dermed vil kreftene til ein viss grad kunne overførast. Innspanninga i topp og botn av elementet vil også vera noko sterkare når elementa står montert i eit byggverk enn kva det var under forsøket. Dette vil gi mindre momentkrefter i midten av elementet og dermed føre til at det vil kunne tåle større ytre krefter. Alt dette kan ha vore med på å gi resultat som avviker frå bruk i verkelege byggverk.

Samvirke

Samvirket i elementa er vanskeleg å måle. Reint visuelt sett vises det ikkje på elementet om det har samvirke eller ikkje. Utifrå berekningane i Maple kan det sjå ut til at PDM-sjiktforbinderane gir svært høg grad av samvirke, medan dei nye CC-sjiktforbinderane gir mindre grad. I motsetning til det som var antatt på forhand, at tynne isolasjonssjikt og dermed korte sjiktforbinderar vil gi meir samvirke, ser det ut til at tynne sjikt gir mindre samvirke. Utifrå berekningane har det tynnaste elementet, 1180, minst grad av samvirke. Dette kan kome av at isolasjonen i 1180 var delt i to langs rand. Det skulle vera eit 20mm lag med isolasjon her og dette blei oppnådd ved å plassere to lag med 10mm isolasjon oppå kvarandre. I tillegg måtte det eine 1180 elementet isolerast med to lag med 30mm isolasjon i staden for eit lag med 60mm isolasjon. Dette kan ha vore med på å svekke samvirket og dermed ført til dei dårlige resultatane.

Utifrå MN-diagramma ser det ut til at elementa skulle ha tålt svært mykje meir enn det dei gjorde gitt at det var fullt samvirke. Samstundes viser diagramma at elementa måtte ha blitt belasta med svært store aksialkrefter for å oppnå denne store momentkapasiteten. Dei 40kN som elementa

blei belasta med viser knapt igjen på diagramma for fult samvirke. Hadde derimot elementa blitt belasta med større aksiallast hadde dette også ført til større moment i elementet ettersom den aksiale lasta ikkje hamnar sentrisk på elementet. Fordi elementa også er svært slanke vil det bli nødvendig å rekne andre grads moment. Kor mykje større momentkapasitet elementa hadde fått dersom aksiallasta hadde vore større er vanskeleg å seie, men skal ein stole blindt på MN-diagramma har desse elementa potensiale til å tåle mykje meir enn det dette forsøket viste. På grunn av isolasjonen i elementa er det likevel grunn til å tru at MN-diagramma ikkje stemmer heilt med verkelegheita og at den maksimale kapasiteten er ein del mindre enn det diagramma oppgjer.

MN-diagrammet for innersjiktet åleine skal vise ein meir realistisk kapasitet ettersom det her ikkje var nødvendig å ta omsyn til noko isolasjon. Søylesonen isolert sett ser ut til å ha ein momentkapasitet på ca. 15kNm ved ei aksiallast på 40kN. I følgje resultata frå forsøket var det i 1250 elementa eit moment i søylesonen på ca. 5,9kNm når yttersjiktet rissa. I tilfellet utan samvirke var det 4,26kNm i innersjiktet. Dette stemmer med at innersjiktet ikkje rissa ved denne belastninga, men dei seier lite om kor vidt MN-diagrammet er riktig eller kor mykje samvirke som blei oppnådd. Platesonen derimot skal i følgje MN-diagrammet bere ha ein momentkapasitet på rundt 5kNm ved ei aksiallast på 40kN. I følgje berekningane i Maple er momentbelastninga i innersjiktet ved brot utan samvirke på 18,5kNm, altså mykje meir enn kva MN-diagrammet seier at det skal tåle. Det kan dermed vera at søylesonane tok opp den lasta som innersjiktet ikkje tåler. Det kan også vera at innersjiktet har rissa utan at det har vore synleg. For fiberelementa er det mindre sjans for at innersjiktet også rissa ettersom desse elementa tålte mindre belastning før yttersjiktet rissa. Kanskje det er mogleg å finne svar ved å «opne» elementa eller sage dei i to.

Fiberbetong

I motsetning til tidligare forsøk utført hjå Block Berge ser det her ut til at fiberarmert betong klarer til ein viss grad å fordele lastene utover elementet. Det viste seg likevel at denne evna er svakare enn hjå betong armert med vanlig armeringsmatte. Det ser også ut til at reststyrken i fiberarmert betong er mykje lågare enn for betong armert med armeringsnett. Når rissa i den fiberarmerte betongen var oppe i 2-3mm var det ingen reststyrke igjen. Det kan sjå ut til at fiberen mistar all heft til betongen og berre glir ut. Samstundes viste det seg ved eit uhell at fiberbetongen har grei emne til å ta opp krefter etter riss. Dette viste seg på det eine 1180 elementet som rissa under heising. Dette tålte like mykje som dei andre 1180 elementa før det gav heilt etter.

Utifrå berekningane utført i Maple kan det også sjå ut til at fiberbetongen oppnår ein større strekkstyrke enn betong utan fiber. Det er vanskeleg å lese noko tydeleg ut av berekningane ettersom ein ikkje veit kor stor grad av samvirke det er og ein heller ikkje veit korleis kreftene fordeler seg mellom søylesonen og platesonen. Strekkstyrken til ein B35 betong er gitt til å vera 3,2MPa. Den same betongen armert med 20kg fiber/m³ skal ha ein styrke på 4,9MPa. Resultata frå berekningane viser at ved fult samvirke rissa 1250 med ei spenning på 3,3MPa i yttersjiktet medan 1220 hadde ei spenning i yttersjiktet på 4,23MPa. 1180 hadde 2,28MPa.

Elementa

Om elementa kan nyttast i byggverk eller ikkje kjem an på fleire faktorar. Kor store laster skal dei tåle, både vertikalt og horisontalt, og kor store sikkerheitsmarginar skal leggest inn? Kva slags bygg skal dei stå i og kva slags avstivningssystem er det? Den store forskjellen på desse elementa versus liknande element som er i bruk i dag er først og fremst tjukkeleiken og fiberbetongen. Tjukkare element med kraftigare søylesonar vil tåle meir og dermed kan det vera at det 50mm tjukke fiberarmerte yttersjiktet er nok. Samvirke skal minke ved lengre sjiktforbinderar, men dette forsøket viser at det motsette kan vera tilfellet. Det kan derfor sjå ut til at tynne element ikkje vil kunne oppnå same styrke som tjukkare element. Ønskje om tynne element kjem av at dei tar mindre plass, veg mindre og isolerer mindre. I nokre typar bygg som fjøs med lausdrift er det ønskeleg at isoleringa er så liten som mogleg. Det er likevel den strukturelle evna som veg tyngst og denne må vera på plass før ein kan tenke på å redusere tjukkeleiken.

For å bygge med desse elementa må ein vite at dei tåler lastene dei blir utsett for. Dei aksiale kreftene er så små at det skal kunne gå greitt. Det er først og fremst vindkreftene som vil kunne skade elementa. Dersom ein ser for seg at desse veggane skal nyttast i eit fjøs i Klepp kommune, stå 8,5m over bakken i opent terreng vekke frå havet vil vinden skape ei kraft på ca. $1,35\text{kN/m}^2$. Dersom denne vinden treffer langveggen på bygget vil sugkreftene som verkar på desse veggelementa vera $1,35\text{kN/m}^2 \cdot 0,8 = 1,08\text{kN/m}^2$. Dette vil gi ei jamt fordelte last på $0,216\text{kN/m}$ langs søylesonane og $2,16\text{kN/m}$ langs platesonen. Dette vil skap eit moment på $1,95\text{kNm}$ i søylesonen og $19,5\text{kNm}$ i platesonen. Dette er godt under momentet som førte til riss i 1250 og 1220 elementa og litt over momentet som førte til riss i 1180 elementa. Desse sugkreftene vil likevel virke direkte på yttersjiktet og ikkje som ei kraft som verkar jamt over heile elementet som var tilfellet med elementa i forsøket. Dette kan tyde på at spesielt 1180 elementet som rissa med eit moment på $2,65\text{kNm}$ i søylesonen og $19,9\text{kNm}$ i platesonen ikkje tåler denne typen vindlastar. I meir ekstreme tilfelle kor bygget vil stå langs opent hav vil vindkreftene kunne kome opp i $1,6\text{kN/m}^2$. Dette vil gi eit moment på $2,89\text{kNm}$ i søylesonane og $28,9\text{kNm}$ i platesonen. Dette er langt over det 1180 tålte, men godt under både det 1220 tålte og det 1250 tålte².

² Desse verdiane er berekna utifrå NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009 tillegg V.

Konklusjon

I konklusjonane her har eg først og fremst tatt utgangspunkt i dei faktiske resultatane frå forsøka. Dei teoretiske berekningane er også tatt med, men ettersom det er avgrensa kor riktige desse er med tanke på at det her er snakk om isolerte element utsett for både aksiallast og momentlast og det er nytta fiberarmering og at ingen av berekningane tar omsyn til alt dette lar eg desse berekningane få mindre innverknad på konklusjonen.

- 1- Fiberarmert betong har ein større emne til å fordele spenningane i veggelement enn tidligare antatt. Denne evna er likevel mindre enn for betong armert med standard armeringsmatte.
- 2- I fiberarmert betong ser fiberen og betongen ut til å verke i lag fram til risset i betongen har nådd 1-2mm. Etter dette er det slutt på reststyrka og betongens evne til å ta opp strekkrefter er vekke.
- 3- Utifrå teoretiske berekningar som ikkje tar omsyn til aksiallast ser det her ut til at fiberarmert betong har større strekkstyrke enn betong utan fiber. Denne kapasiteten er likevel litt mindre enn det formelen til ReinforceTech™ anslår at han skal vera.
- 4- Utifrå dei same teoretiske berekningane ser det ut til at tradisjonelle PDM-stigar gir minst like stor grad av samvirke som nye CC-sjiktforbinderar.
- 5- I to like sandwichelement der einaste forskjellen er tjukkeleiken på isolasjonen og lengda på sjiktforbinderane tåler det elementet med størst avstand mellom betongsjikta mest. Det er altså lite som tyder på at eit eventuelt auke i samvirke med bruk av kortare sjiktforbinderar aukar momentkapasiteten til elementet. Dersom det er sånn at eit auke i samvirke skal gi større momentkapasitet ser det då ut til at det ikkje blir større grad av samvirke med bruk av kortare sjiktforbinderar.
- 6- Elementa i denne oppgåva av typen 1250 og 1220 kan sjå ut til å vera sterke nok til å tåle vindlastene dei vil kunne bli utsett for i følgje NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009 tillegg V gitt ei maks høgd over bakkenivå på 10m.
- 7- Elementa 1180 er for svake og kan berre nyttast i byggverk dersom dei er svært skjerma for vind og blir behandla svært forsiktig under transport og montasje. Sjølv under desse føresetnadane er det tvilsamt at dei har tilstrekkeleg kapasitet til at dei kan nyttast.
- 8- Til slutt er det uansett for mange forskjellar mellom måten forsøket blei utført på og korleis eit tilsvarande element vil bli belasta i verkelegheita til å kunne bestemme sikkert om dei er sterke nok til å kunne bli brukt i relevante byggverk. Fleire berekningar og vidare forskning er nødvendige.

Referansar

- [1] Sven Alexander mfl., Betongelementboken Bind A, Oslo, 2010
- [2] Sven Alexander mfl., Betongelementboken bind C, Oslo, 2013
- [3] Sven Alexander mfl., Betongelementboken bind C, Oslo, 2013
- [4] Peikko group®, Ties and Connector Pins, Technical Manual, 2015
- [5] Sven Alexander mfl., Betongelementboken bind C, Oslo, 2013
- [6] Thermomass® system SC Q&A, Boone USA, 2012, 2nd edition
- [7] Venkatesh Seshappa og Kim E. Seeber, Design of energy efficient partially-composite sandwich wall panels using fiber composite polymer (frp) wythe connectors, 3rd *fib* International Congress, 2010.
- [8] Dr. Anil Patnaik, Gen 3.1 MiniBar™ Reinforced Concrete (MRC), Akron USA, 2013, Rev C
- [9] Ole Garborg Østrem, Bacheloroppgåve, Prosjektering av fiberarmerte veggelement, UiS, 2014
- [10] Jørn Eirik Espedal, Masteroppgåve, Fiberarmert betong, UiS, 2015
- [11] Jørn Eirik Espedal, Masteroppgåve, Fiberarmert betong, UiS, 2015
- [12] Dr. Anil Patnaik, Gen 3.1 MiniBar™ Reinforced Concrete (MRC), Akron USA, 2013, Rev C
- [13] Venkatesh Seshappa og Kim E. Seeber, Design of energy efficient partially-composite sandwich wall panels using fiber composite polymer (frp) wythe connectors, 3rd *fib* International Congress, 2010.
- [14] Dr. Anil Patnaik, Gen 3.1 MiniBar™ Reinforced Concrete (MRC), Akron USA, 2013, Rev C

Vedlegg

Blanderapporatar

Block Berge Bygg AS

1250-17

25-04-2016

Side: 1

BLANDERAPPORRT

Charge nr.: 635378	B nr.: 0	Blander: 3	Miljøklasse: M									
A nr.: 0	C nr.: 0	Receipt: 7	B35M60 GRÅ VIBR 16									
Udlev. nr.	Bør m3	Er m3	NOK	Bør V/C	Er V/C	Bør V/P	Er V/P	Konsistens				
83	0,85		426,62	0,528	0,531	0,53	0,53	200				
		Forsinkelse min:sek til			Netto	Brutto	Flyde-	Antal				
Dato	Kl.	Doser	Bland.	Klar	Tømn.	Slut	blandetid	blandetid	spænding	alarmer		
25-04-2016	12:08	1:09	6:51	10:35			261	566	0,0	0		
					Vand	Vand	Rel.	Ledn.evne/Effekt/Temp.				
Mat. Navn	Dens.	Bør kg	Er kg	Afv. %	kg	%	kg/m3	Type	Afv.	Bør	Er	Rec. kg
93 8-16 Velde	2630	828,5	825	-0,4	1,967	0,24	972	Auto				
7 0-2 Fin sand	2640	762,7	760	-0,3	11,10	1,5	895	Auto				
75 Cemex Rapid	3110	270,1	270,5	0,1	0,000		319	Auto				
66 Kaldtvann	1000	127,0	126,9	0,0	126,9		150	Auto				127,0
83 Master air 11	1000	1,351	1,35	-0,1	1,334		2	Auto				
87 Glenium ACE 434	1070	1,688	1,70	0,7	1,244		2	Auto				
Mat./spulevand		1,000	1,000	0,0	1,000		1					
Total		1992	1986		143,6		2340					
Alarmdato	Kl.	Alarmtid	Kvit.tid	S/G-tid								
Tekst												

Block Berge Bygg AS

1250-11

25-04-2016

Side: 1

BLANDERAPPORRT

Charge nr.: 635400	B nr.: 0	Blander: 3	Miljøklasse: M									
A nr.: 0	C nr.: 0	Receipt: 8	B35M60 GRÅ SKB 16									
Udlev. nr.	Bør m3	Er m3	NOK	Bør V/C	Er V/C	Bør V/P	Er V/P	Konsistens				
83	1,00	1,004	510,64	0,500	0,501	0,50	0,50	700				
		Forsinkelse min:sek til			Netto	Brutto	Flyde-	Antal				
Dato	Kl.	Doser	Bland.	Klar	Tømn.	Slut	blandetid	blandetid	spænding	alarmer		
25-04-2016	14:19	5:53	9:58	13:44			261	471	0,0	1		
					Vand	Vand	Rel.	Ledn.evne/Effekt/Temp.				
Mat. Navn	Dens.	Bør kg	Er kg	Afv. %	kg	%	kg/m3	Type	Afv.	Bør	Er	Rec. kg
7 0-2 Fin sand	2640	773,6	775	0,2	11,32	1,5	772	Auto				
92 4-8 Velde	2620	121,6	120	-1,3	0,476	0,4	120	Auto				
93 8-16 Velde	2630	793,8	795	0,2	1,896	0,24	792	Auto				
91 0-4 Velde	2660	85,21	90	5,6	0,532	0,6	90	Auto	*			
71 Cemex Miljø	3060	139,2	138,5	-0,5	0,000		138	Auto				
75 Cemex Rapid	3110	208,8	211,0	1,1	0,000		210	Auto				
66 Kaldtvann	1000	156,5	156,6	0,1	156,6		156	Auto				156,5
83 Master air 11	1000	1,740	1,75	0,6	1,729		2	Auto				
87 Glenium ACE 434	1070	2,088	2,10	0,6	1,537		2	Auto				
Mat./spulevand		1,000	1,000	0,0	1,000		1					
Total		2284	2291		175,1		2282					
Alarmdato	Kl.	Alarmtid	Kvit.tid	S/G-tid								
Tekst												
25-04-2016	14:26		00:01:18	00:01:18								
VEJEBÅND 1, doseret for meget af materiale 91, 0-4 Velde												

1250-27

BLANDERAPPORT

Charge nr.: 635519 B nr.: 0 Blander: 2 Miljøklasse: M
 A nr.: 0 C nr.: 0 Recept: 7 B35M60 GRÅ VIBR 16

Udlev. nr.	Bør m3	Er m3	NOK	Bør V/C	Er V/C	Bør V/P	Er V/P	Konsistens
82	0,85	0,853	428,06	0,528	0,542	0,53	0,54	200

Dato	Kl.	Doser	Forsinkelse min:sek til			Slut	Netto blandetid	Brutto blandetid	Flyde-spænding	Antal alarmer
			Bland.	Klar	Tømn.					
26-04-2016	11:04	0:04	2:07	5:46			221	342	0,0	0

Mat. Navn	Dens.	Bør kg	Er kg	Afv. %	Vand		Rel. Type	Afv.	Bør	Er	Rec. kg	Ledn.evne/Effekt/Temp.
					kg	%						
93 8-16 Velde	2630	828,5	830	0,2	1,979	0,24	973 Auto					
7 0-2 Fin sand	2640	762,7	760	-0,3	11,10	1,5	891 Auto					
75 Cemex Rapid	3110	270,1	270,0	-0,1	0,000		316 Auto					
66 Kaldtvann	1000	129,8	129,7	-0,1	129,7		152 Auto					129,8
83 Master air 11	1000	1,351	1,35	-0,1	1,334		2 Auto					
87 Glenium ACE 434	1070	1,688	1,65	-2,3	1,208		2 Auto					
Mat./spulevand		1,000	1,000	0,0	1,000		1					
Total		1995	1994		146,4		2336					

Alarmdato	Kl.	Alarmtid	Kvit.tid	S/G-tid
Tekst				

1250-21

BLANDERAPPORT

Charge nr.: 635558 B nr.: 0 Blander: 3 Miljøklasse: M
 A nr.: 0 C nr.: 0 Recept: 8 B35M60 GRÅ SKB 16

Udlev. nr.	Bør m3	Er m3	NOK	Bør V/C	Er V/C	Bør V/P	Er V/P	Konsistens
83	1,00	1,002	510,51	0,500	0,501	0,50	0,50	700

Dato	Kl.	Doser	Forsinkelse min:sek til			Slut	Netto blandetid	Brutto blandetid	Flyde-spænding	Antal alarmer
			Bland.	Klar	Tømn.					
26-04-2016	14:01	2:42	8:21	12:07			261	565	0,0	0

Mat. Navn	Dens.	Bør kg	Er kg	Afv. %	Vand		Rel. Type	Afv.	Bør	Er	Rec. kg	Ledn.evne/Effekt/Temp.
					kg	%						
7 0-2 Fin sand	2640	859,4	860	0,1	12,56	1,5	858 Auto					
92 4-8 Velde	2620	121,6	120	-1,3	0,476	0,4	120 Auto					
93 8-16 Velde	2630	793,6	795	0,2	1,896	0,24	793 Auto					
91 0-4 Velde	2660	0,000	0,0	0,000	0,6	0	0 Auto					
71 Cemex Miljø	3060	139,2	141,0	1,3	0,000		141 Auto					
75 Cemex Rapid	3110	208,7	208,5	-0,1	0,000		208 Auto					
66 Kaldtvann	1000	155,8	155,8	0,0	155,8		155 Auto					155,8
83 Master air 11	1000	1,740	1,75	0,6	1,729		2 Auto					
87 Glenium ACE 434	1070	2,087	2,10	0,6	1,537		2 Auto					
Mat./spulevand		1,000	1,000	0,0	1,000		1					
Total		2283	2285		175,0		2281					

Alarmdato	Kl.	Alarmtid	Kvit.tid	S/G-tid
Tekst				

1250-3Y

BLANDERAPPORT

Charge nr.: 635641 B nr.: 0 Blander: 3 Miljøklasse: M
 A nr.: 0 C nr.: 0 Receipt: 7 B35M60 GRÅ VIBR 16

Udlev. nr.	Bør m3	Er m3	NOK	Bør V/C	Er V/C	Bør V/P	Er V/P	Konsistens		
83	0,85	0,854	428,06	0,528	0,542	0,53	0,54	200		
Forsinkelse min:sek til				Netto	Brutto	Flyde-	Antal			
Dato	Kl.	Doser	Bland.	Klar	Tømn.	Slut	blandetid	blandetid	spænding	alarmer
27-04-2016	09:04	0:07	2:14	5:57			225	350	0,0	0

Mat. Navn	Dens.	Bør kg	Er kg	Afv. %	Vand	Vand	Rel.	Ledn.evne/Effekt/Temp.			
					kg	%	kg/m3	Type	Afv.	Bør	Er
93 8-16 Velde	2630	828,5	830	0,2	1,979	0,24	972	Auto			
7 0-2 Fin sand	2640	762,7	760	-0,3	11,10	1,5	890	Auto			
75 Cemex Rapid	3110	270,1	270,5	0,1	0,000		317	Auto			
66 Kaldtvann	1000	129,8	129,8	0,0	129,8		152	Auto			129,8
83 Master air 11	1000	1,351	1,35	-0,1	1,334		2	Auto			
87 Glenium ACE 434	1070	1,688	1,75	3,6	1,281		2	Auto			
Mat./spulevand		1,000	1,000	0,0	1,000		1				
Total		1995	1994		146,5		2336				

Alarmdato Kl. Alarmtid Kvit.tid S/G-tid
 Tekst

1250-3I

BLANDERAPPORT

Charge nr.: 635713 B nr.: 0 Blander: 3 Miljøklasse: M
 A nr.: 0 C nr.: 0 Receipt: 8 B35M60 GRÅ SKB 16

Udlev. nr.	Bør m3	Er m3	NOK	Bør V/C	Er V/C	Bør V/P	Er V/P	Konsistens		
83	1,10	1,106	563,52	0,500	0,512	0,50	0,51	700		
Forsinkelse min:sek til				Netto	Brutto	Flyde-	Antal			
Dato	Kl.	Doser	Bland.	Klar	Tømn.	Slut	blandetid	blandetid	spænding	alarmer
27-04-2016	13:05	1:34	7:12	11:02			262	568	0,0	0

Mat. Navn	Dens.	Bør kg	Er kg	Afv. %	Vand	Vand	Rel.	Ledn.evne/Effekt/Temp.			
					kg	%	kg/m3	Type	Afv.	Bør	Er
7 0-2 Fin sand	2640	945,3	945	0,0	13,80	1,5	854	Auto			
92 4-8 Velde	2620	133,7	135	1,0	0,535	0,4	122	Auto			
93 8-16 Velde	2630	872,9	875	0,2	2,087	0,24	791	Auto			
91 0-4 Velde	2660	0,000	0,0	0,000	0,6	0	0	Auto			
71 Cemex Miljø	3060	153,1	154,0	0,6	0,000		139	Auto			
75 Cemex Rapid	3110	229,6	229,0	-0,3	0,000		207	Auto			
66 Kaldtvann	1000	175,2	175,2	0,0	175,2		158	Auto			175,2
83 Master air 11	1000	1,914	1,90	-0,7	1,877		2	Auto			
87 Glenium ACE 434	1070	2,296	2,30	0,2	1,684		2	Auto			
Mat./spulevand		1,000	1,000	0,0	1,000		1				
Total		2515	2518		196,2		2276				

Alarmdato Kl. Alarmtid Kvit.tid S/G-tid
 Tekst

1220-17

BLANDERAPPORT

Charge nr.: 636867 B nr.: 0 Blander: 3 Miljøklasse: M
A nr.: 0 C nr.: 0 Receipt: 7 B35M60 GRÅ VIBR 16

Udlev. nr.	Bør m3	Er m3	NOK	Bør V/C	Er V/C	Bør V/P	Er V/P	Konsistens
83	0,60	0,602	301,15	0,528	0,532	0,53	0,53	200

Dato	Kl.	Forsinkelse min:sek til				Slut	Netto blandetid	Brutto blandetid	Flyde-spænding	Antal alarmer
		Doser	Bland.	Klar	Tømn.					
10-05-2016	10:22	1:16	3:20	6:59		340	343	0,0	1	

Mat. Navn	Dens.	Bør kg	Er kg	Afv. %	Vand		Rel. kg/m3	Type	Afv.	Bør	Ledn.evne/Effekt/Temp.	
					kg	%					Er	Rec. kg
93 8-16 Velde	2630	584,8	585	0,0	1,395	0,24	972	Auto				
7 0-2 Fin sand	2640	538,3	540	0,3	7,887	1,5	897	Auto				
75 Cemex Rapid	3110	190,7	191,0	0,2	0,000		317	Auto				
66 Kaldtvann	1000	89,57	89,60	0,0	89,60		149	Auto				89,6
83 Master air 11	1000	0,953	0,95	-0,4	0,939		2	Auto				
87 Glenium ACE 434	1070	1,192	1,20	0,7	0,878		2	Auto				
Mat./spulevand		1,000	1,000	0,0	1,000		2					
Total		1407	1409		101,7		2340					

Alarmdato	Kl.	Alarmtid	Kvit.tid	S/G-tid
-----------	-----	----------	----------	---------

Tekst

10-05-2016 10:30

00:01:30 00:01:30

FORHKNDRING 2, spærret, CONVEYORVOGN 2, rute ikke åbnet, tager ingen ny charge

1220-11

BLANDERAPPORT

Charge nr.: 636954 B nr.: 0 Blander: 3 Miljøklasse: M
A nr.: 0 C nr.: 0 Receipt: 8 B35M60 GRÅ SKB 16

Udlev. nr.	Bør m3	Er m3	NOK	Bør V/C	Er V/C	Bør V/P	Er V/P	Konsistens
83	0,81	0,810	411,96	0,500	0,529	0,50	0,53	700

Dato	Kl.	Forsinkelse min:sek til				Slut	Netto blandetid	Brutto blandetid	Flyde-spænding	Antal alarmer
		Doser	Bland.	Klar	Tømn.					
10-05-2016	14:15	2:01	7:08	10:54		230	533	0,0	1	

Mat. Navn	Dens.	Bør kg	Er kg	Afv. %	Vand		Rel. kg/m3	Type	Afv.	Bør	Ledn.evne/Effekt/Temp.	
					kg	%					Er	Rec. kg
7 0-2 Fin sand	2640	687,5	690	0,4	10,08	1,5	851	Auto				
92 4-8 Velde	2620	97,25	95	-2,3	0,377	0,4	117	Auto				
93 8-16 Velde	2630	634,9	640	0,8	1,526	0,24	790	Auto				
91 0-4 Velde	2660	0,000		0,0	0,000	0,6	0	Auto				
71 Cemex Miljø	3060	111,3	111,5	0,2	0,000		138	Auto				
75 Cemex Rapid	3110	167,0	166,5	-0,3	0,000		205	Auto				
66 Kaldtvann	1000	131,5	131,5	0,0	131,5		162	Auto				131,5
83 Master air 11	1000	1,392	1,40	0,6	1,383		2	Auto				
87 Glenium ACE 434	1070	1,670	1,70	1,8	1,244		2	Auto				
Mat./spulevand		1,000	1,000	0,0	1,000		1					
Total		1834	1839		147,1		2269					

Alarmdato	Kl.	Alarmtid	Kvit.tid	S/G-tid
-----------	-----	----------	----------	---------

Tekst

10-05-2016 14:26

RI ANDER 3. for stor afvælse. vand/cement-tal

1220-27

BLANDERAPPORT

Charge nr.:	637063	B nr.:	0	Blander:	3	Miljøklasse:	M					
A nr.:	0	C nr.:	0	Recept:	7	B35M60 GRÅ VIBR 16						
Udlev. nr.	Bør m3	Er m3	NOK	Bør V/C	Er V/C	Bør V/P	Er V/P	Konsistens				
83	0,55	0,554	276,05	0,528	0,528	0,53	0,53	200				
Forsinkelse min:sek til				Netto	Brutto	Flyde-	Antal					
Dato	Kl.	Doser	Bland.	Klar	Tømn.	Slut	blandetid	blandetid	spænding	alarmer		
11-05-2016	09:54	0:44	3:28	7:04			306	380	0,0	1		
Mat. Navn	Dens.	Bør kg	Er kg	Afv. %	Vand kg	Vand %	Rel. kg/m3	Type	Afv.	Bør	Er	Rec. kg
93 8-16 Velde	2630	536,1	540	0,7	1,288	0,24	975	Auto				
7 0-2 Fin sand	2640	493,5	495	0,3	7,230	1,5	894	Auto				
75 Cemex Rapid	3110	174,8	176,5	1,0	0,000		319	Auto				
66 Kaldtvann	1000	82,07	82,05	0,0	82,05		148	Auto				82,1
83 Master air 11	1000	0,874	0,90	3,0	0,889		2	Auto				
87 Glenium ACE 434	1070	1,093	1,10	0,7	0,805		2	Auto				
Mat./spulevand	1,000	1,000	0,0	1,000			2					
Total		1289	1297		93,26		2341					
Alarmdato	Kl.	Alarmtid	Kvit.tid	S/G-tid								
11-05-2016	10:02		00:01:00	00:01:00								
Tekst												
BLANDEROPLUK 31, åbning/lukning for langsom, CONVEYORVOGN 2, rute ikke åbnet, modtagelse stoppet												

1220-2I

BLANDERAPPORT

Charge nr.:	637141	B nr.:	0	Blander:	3	Miljøklasse:	M					
A nr.:	0	C nr.:	0	Recept:	8	B35M60 GRÅ SKB 16						
Udlev. nr.	Bør m3	Er m3	NOK	Bør V/C	Er V/C	Bør V/P	Er V/P	Konsistens				
83	1,01	1,011	514,95	0,500	0,524	0,50	0,52	700				
Forsinkelse min:sek til				Netto	Brutto	Flyde-	Antal					
Dato	Kl.	Doser	Bland.	Klar	Tømn.	Slut	blandetid	blandetid	spænding	alarmer		
11-05-2016	13:25	0:09	2:30	6:21			231	372	0,0	2		
Mat. Navn	Dens.	Bør kg	Er kg	Afv. %	Vand kg	Vand %	Rel. kg/m3	Type	Afv.	Bør	Er	Rec. kg
7 0-2 Fin sand	2640	859,4	860	0,1	12,56	1,5	850	Auto				
92 4-8 Velde	2620	121,6	120	-1,3	0,476	0,4	119	Auto				
93 8-16 Velde	2630	793,6	795	0,2	1,896	0,24	786	Auto				
91 0-4 Velde	2660	0,000		0,0	0,000	0,6	0	Auto				
71 Cemex Miljø	3060	139,2	139,5	0,2	0,000		138	Auto				
75 Cemex Rapid	3110	208,7	211,0	1,1	0,000		209	Auto				
66 Kaldtvann	1000	164,5	164,4	0,0	164,4		163	Auto				164,5
83 Master air 11	1000	1,740	1,75	0,6	1,729		2	Auto				
87 Glenium ACE 434	1070	2,087	2,10	0,6	1,537		2	Auto				
Mat./spulevand	1,000	1,000	0,0	1,000			1					
Total		2292	2295		183,6		2269					
Alarmdato	Kl.	Alarmtid	Kvit.tid	S/G-tid								
11-05-2016	13:26											
SILO 31, indhold under minimum												
11-05-2016	13:31											
BLANDER 3, for stor afvigelse, vand/cement-tal												

1220-34

BLANDERAPPORT

Charge nr.: 637236 B nr.: 0 Blander: 3 Miljøklasse: M
 A nr.: 0 C nr.: 0 Recept: 7 B35M60 GRÅ VIBR 16

Udlev. nr.	Bør m3	Er m3	NOK	Bør V/C	Er V/C	Bør V/P	Er V/P	Konsistens
83	0,55	0,553	276,05	0,528	0,534	0,53	0,53	200
		Forsinkelse min:sek til		Netto blandetid		Brutto blandetid		Flyde-spænding
Dato	Kl.	Doser	Bland.	Klar	Tørn.	Slut		Antal alarmer
12-05-2016	09:31	2:26	6:25	10:03			351	457
								0,0
								1

Mat. Navn	Dens.	Bør kg	Er kg	Afv. %	Vand kg	Vand %	Rel. kg/m3	Type	Afv.	Bør	Er	Rec. kg
93 8-16 Velde	2630	536,1	540	0,7	1,288	0,24	977	Auto				
7 0-2 Fin sand	2640	493,5	495	0,3	7,230	1,5	895	Auto				
75 Cemex Rapid	3110	174,8	174,5	-0,2	0,000		316	Auto				
66 Kaldtvann	1000	82,07	81,97	-0,1	81,97		148	Auto				82,1
83 Master air 11	1000	0,874	0,90	3,0	0,889		2	Auto				
87 Glenium ACE 434	1070	1,093	1,10	0,7	0,805		2	Auto				
Mat./spulevand		1,000	1,000	0,0	1,000		2					
Total		1289	1294		93,18		2341					

Alarmdato	Kl.	Alarmtid	Kvit.tid	S/G-tid
12-05-2016	09:42		00:01:49	00:01:49
BLANDEROPLUK 31, åbning/lukning for langsom, CONVEYORVOGN 2, rute ikke åbnet, modtagelse stoppet				

1220-31

BLANDERAPPORT

Charge nr.: 637370 B nr.: 0 Blander: 3 Miljøklasse: M
 A nr.: 0 C nr.: 0 Recept: 8 B35M60 GRÅ SKB 16

Udlev. nr.	Bør m3	Er m3	NOK	Bør V/C	Er V/C	Bør V/P	Er V/P	Konsistens
83	1,01	1,010	515,84	0,500	0,527	0,50	0,53	700
		Forsinkelse min:sek til		Netto blandetid		Brutto blandetid		Flyde-spænding
Dato	Kl.	Doser	Bland.	Klar	Tørn.	Slut		Antal alarmer
12-05-2016	14:15	3:45	9:53	13:49			237	604
								0,0
								5

Mat. Navn	Dens.	Bør kg	Er kg	Afv. %	Vand kg	Vand %	Rel. kg/m3	Type	Afv.	Bør	Er	Rec. kg
7 0-2 Fin sand	2640	859,4	880	0,1	12,56	1,5	852	Auto				
92 4-8 Velde	2620	121,6	120	-1,3	0,476	0,4	119	Auto				
93 8-16 Velde	2630	793,6	790	-0,5	1,884	0,24	782	Auto				
91 0-4 Velde	2660	0,000	0,0	0,000	0,6	0	0	Auto				
71 Cemex Miljø	3060	139,2	140,0	0,6	0,000		139	Auto				
75 Cemex Rapid	3110	208,7	209,5	0,4	0,000		208	Auto				
66 Kaldtvann	1000	165,0	165,0	0,0	165,0		163	Auto				165,0
83 Master air 11	1000	1,740	1,75	0,6	1,729		2	Auto				
87 Glenium ACE 434	1070	2,087	2,10	0,6	1,537		2	Auto				
Mat./spulevand		1,000	1,000	0,0	1,000		1					
Total		2292	2289		184,2		2268					

Alarmdato	Kl.	Alarmtid	Kvit.tid	S/G-tid
12-05-2016	14:20		00:00:04	
SILO 33, indhold under minimum				
12-05-2016	14:21		00:00:51	
SILO 31, indhold under minimum				
12-05-2016	14:21		00:00:05	
SILO 43, indhold under minimum				
12-05-2016	14:23		00:00:04	
Bør-værdi, materiale 66, Kaldtvann, blander 3, ændret manuelt				
12-05-2016	14:29			
BLANDER 3, for stor afvigelse, vand/cement-tal				

1180-1Y

BLANDERAPPORT

Charge nr.: 637868 B nr.: 0 Blander: 3 Miljøklasse: M
 A nr.: 0 C nr.: 0 Recept: 7 B35M60 GRÅ VIBR 16

Udlev. nr.	Bør m3	Er m3	NOK	Bør V/C	Er V/C	Bør V/P	Er V/P	Konsistens		
83	0,55	0,549	276,05	0,528	0,531	0,53	0,53	200		
Forsinkelse min:sek til				Netto	Brutto	Flyde-	Antal			
Dato	Kl.	Doser	Bland.	Klar	Tømn.	Slut	blandetid	blandetid	spænding	alarmer
18-05-2016	09:22	1:40	3:39	7:14			348	334	0,0	1

Mat. Navn	Dens.	Bør kg	Er kg	Afv. %	Vand kg	Vand %	Rel. kg/m3	Type	Afv.	Bør	Er	Rec. kg	Ledn.evne/Effekt/Temp.
93 8-16 Velde	2630	536,1	535	-0,2	1,276	0,24	974	Auto					
7 0-2 Fin sand	2640	493,5	490	-0,7	7,157	1,5	892	Auto					
75 Cemex Rapid	3110	174,8	175,5	0,4	0,000		319	Auto					
66 Kaldtvann	1000	82,15	82,05	-0,1	82,05		149	Auto					82,2
83 Master air 11	1000	0,874	0,90	3,0	0,889		2	Auto					
87 Glenium ACE 434	1070	1,093	1,10	0,7	0,805		2	Auto					
Mat./spulevand		1,000	1,000	0,0	1,000		2						
Total		1289	1286		93,18		2340						

Alarmdato Kl. Alarmtid Kvit.tid S/G-tid

Tekst

18-05-2016 09:29 00:01:42 00:01:42
 FORHKNDRING 2, spærret, CONVEYORVOGN 2, rute ikke åbnet, tager ingen ny charge

1180-1I

BLANDERAPPORT

Charge nr.: 637781 B nr.: 0 Blander: 3 Miljøklasse: M
 A nr.: 0 C nr.: 0 Recept: 8 B35M60 GRÅ SKB 16

Udlev. nr.	Bør m3	Er m3	NOK	Bør V/C	Er V/C	Bør V/P	Er V/P	Konsistens		
83	0,86	0,860	437,71	0,500	0,529	0,50	0,53	700		
Forsinkelse min:sek til				Netto	Brutto	Flyde-	Antal			
Dato	Kl.	Doser	Bland.	Klar	Tømn.	Slut	blandetid	blandetid	spænding	alarmer
18-05-2016	14:22	17:22	22:42	26:33			262	551	0,0	1

Mat. Navn	Dens.	Bør kg	Er kg	Afv. %	Vand kg	Vand %	Rel. kg/m3	Type	Afv.	Bør	Er	Rec. kg	Ledn.evne/Effekt/Temp.
7 0-2 Fin sand	2640	730,5	730	-0,1	10,66	1,5	849	Auto					
92 4-8 Velde	2620	103,3	105	1,6	0,416	0,4	122	Auto					
93 8-16 Velde	2630	674,5	675	0,1	1,610	0,24	785	Auto					
91 0-4 Velde	2660	0,000	0,0	0,000	0,6	0	0	Auto					
71 Cemex Miljø	3060	118,3	118,0	-0,2	0,000		137	Auto					
75 Cemex Rapid	3110	177,4	177,5	0,0	0,000		207	Auto					
66 Kaldtvann	1000	139,8	139,8	0,0	139,8		163	Auto					139,8
83 Master air 11	1000	1,479	1,50	1,4	1,482		2	Auto					
87 Glenium ACE 434	1070	1,774	1,80	1,4	1,318		2	Auto					
Mat./spulevand		1,000	1,000	0,0	1,000		1						
Total		1948	1950		156,3		2268						

Alarmdato Kl. Alarmtid Kvit.tid S/G-tid

Tekst

18-05-2016 14:49
 BLANDER 3, for stor afvigelse, vand/cement-tal

1180-27

BLANDERAPPORT

Charge nr.: 637888 B nr.: 0 Blander: 3 Miljøklasse: M
 A nr.: 0 C nr.: 0 Recept: 7 B35M60 GRÅ VIBR 16

Udlev. nr.	Bør m3	Er m3	NOK	Bør V/C	Er V/C	Bør V/P	Er V/P	Konsistens		
83	0,55	0,551	276,05	0,528	0,530	0,53	0,53	200		
Forsinkelse min:sek til				Netto	Brutto	Flyde-	Antal			
Dato	Kl.	Doser	Bland.	Klar	Tømn.	Slut	blandetid	blandetid	spænding	alarmer
19-05-2016	09:17	0:20	3:57	7:33			288	433	0,0	1

Mat. Navn	Dens.	Bør kg	Er kg	Afv. %	Vand kg	Vand %	Rel. kg/m3	Type	Afv.	Bør	Er	Ledn.evne/Effekt/Temp.	
												Rec.	kg
93 8-16 Velde	2630	536,1	535	-0,2	1,276	0,24	970	Auto					
7 0-2 Fin sand	2640	493,5	495	0,3	7,230	1,5	898	Auto					
75 Cemex Rapid	3110	174,8	175,5	0,4	0,000		318	Auto					
66 Kaldtvann	1000	82,13	81,94	-0,2	81,94		149	Auto					82,1
83 Master air 11	1000	0,874	0,85	-2,7	0,840		2	Auto					
87 Glenium ACE 434	1070	1,093	1,10	0,7	0,805		2	Auto					
Mat./spulevand		1,000	1,000	0,0	1,000		2						
Total		1289	1290		93,09		2341						

Alarmdato Kl. Alarmtid Kvittid S/G-tid

Tekst

19-05-2016 09:25 00:00:58 00:00:58

BLANDEROPLUK 31, åbning/lukning for langsom, CONVEYORVOGN 2, rute ikke åbnet, modtagelse stoppet

1180-2I

BLANDERAPPORT

Charge nr.: 638001 B nr.: 0 Blander: 3 Miljøklasse: M
 A nr.: 0 C nr.: 0 Recept: 8 B35M60 GRÅ SKB 16

Udlev. nr.	Bør m3	Er m3	NOK	Bør V/C	Er V/C	Bør V/P	Er V/P	Konsistens		
83	1,01	1,011	514,06	0,500	0,522	0,50	0,52	700		
Forsinkelse min:sek til				Netto	Brutto	Flyde-	Antal			
Dato	Kl.	Doser	Bland.	Klar	Tømn.	Slut	blandetid	blandetid	spænding	alarmer
19-05-2016	13:14	17:39	22:46	26:38			261	539	0,0	1

Mat. Navn	Dens.	Bør kg	Er kg	Afv. %	Vand kg	Vand %	Rel. kg/m3	Type	Afv.	Bør	Er	Ledn.evne/Effekt/Temp.	
												Rec.	kg
7 0-2 Fin sand	2640	859,4	865	0,7	12,63	1,5	856	Auto					
92 4-8 Velde	2620	121,6	125	2,8	0,496	0,4	124	Auto					
93 8-16 Velde	2630	793,6	790	-0,5	1,884	0,24	782	Auto					
91 0-4 Velde	2660	0,000	0,0	0,000	0,6	0	0	Auto					
71 Cemex Miljø	3060	139,2	139,0	-0,1	0,000		138	Auto					
75 Cemex Rapid	3110	208,7	209,5	0,4	0,000		207	Auto					
66 Kaldtvann	1000	162,6	162,6	0,0	162,6		161	Auto					162,6
83 Master air 11	1000	1,740	1,75	0,6	1,729		2	Auto					
87 Glenium ACE 434	1070	2,087	2,10	0,6	1,537		2	Auto					
Mat./spulevand		1,000	1,000	0,0	1,000		1						
Total		2290	2296		181,9		2271						

Alarmdato Kl. Alarmtid Kvittid S/G-tid

Tekst

19-05-2016 13:40

BLANDER 3, for stor afvigelse, vand/cement-tal

BLANDERAPPORT

Charge nr.: 638130 B nr.: 0 Blander: 3 Miljøklasse: M
A nr.: 0 C nr.: 0 Recept: 7 B35M60 GRÅ VIBR 16

Udlev. nr.	Bør m3	Er m3	NOK	Bør V/C	Er V/C	Bør V/P	Er V/P	Konsistens		
83	0,55	0,554	276,05	0,528	0,539	0,53	0,54	200		
Forsinkelse min:sek til				Netto	Brutto	Flyde-	Antal			
Dato	Kl.	Doser	Bland.	Klar	Tømn.	Slut	blandetid	blandetid	spænding	alarmer
20-05-2016	10:12	3:12	8:18	11:59			398	527	0,0	2

Mat. Navn	Dens.	Bør kg	Er kg	Afv. %	Vand kg	Vand %	Rel. kg/m3	Type	Afv.	Bør	Er	Rec. kg
93 8-16 Velde	2630	536,1	535	-0,2	1,276	0,24	936	Auto				
7 0-2 Fin sand	2640	493,5	495	0,3	7,230	1,5	834	Auto				
75 Cemex Rapid	3110	174,8	176,5	1,0	0,000		319	Auto				
66 Kaldtvann	1000	83,99	83,92	-0,1	83,92		152	Auto				84,0
83 Master air 11	1000	0,874	0,90	3,0	0,889		2	Auto				
87 Glenium ACE 434	1070	1,093	1,05	-3,9	0,769		2	Auto				
Mat./spulevand		1,000	1,000	0,0	1,000		2					
Total		1291	1293		95,08		2336					

Alarmdato	Kl.	Alarmtid	Kvit.tid	S/G-tid
20-05-2016	10:20		00:00:06	
Bør-værdi, materiale 66, Kaldtvann, blander 3, ændret manuelt				
20-05-2016	10:26		00:00:21	00:00:21
FORHKNDRING 2, spærret, tager ingen ny charge				

BLANDERAPPORT

Charge nr.: 638237 B nr.: 0 Blander: 3 Miljøklasse: M
A nr.: 0 C nr.: 0 Recept: 8 B35M60 GRÅ SKB 16

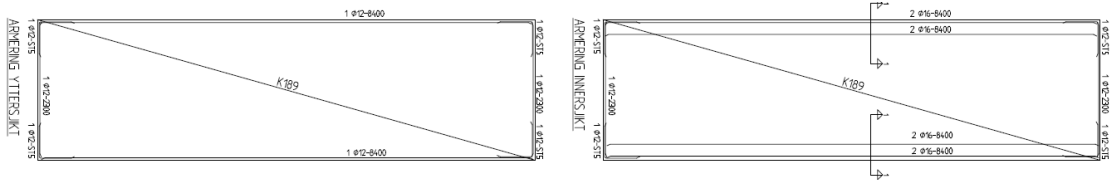
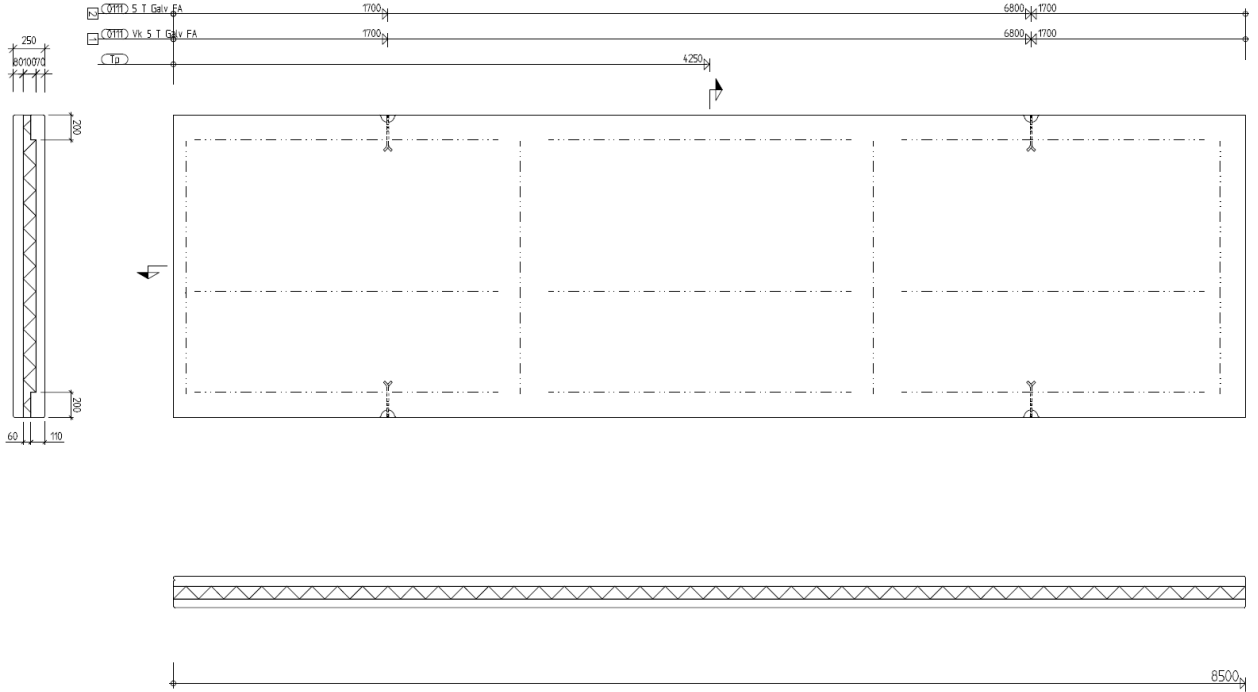
Udlev. nr.	Bør m3	Er m3	NOK	Bør V/C	Er V/C	Bør V/P	Er V/P	Konsistens		
93	1,00	0,999	510,51	0,500	0,502	0,50	0,50	700		
Forsinkelse min:sek til				Netto	Brutto	Flyde-	Antal			
Dato	Kl.	Doser	Bland.	Klar	Tømn.	Slut	blandetid	blandetid	spænding	alarmer
20-05-2016	13:59	23:09	28:26	32:20			281	551	0,0	2

Mat. Navn	Dens.	Bør kg	Er kg	Afv. %	Vand kg	Vand %	Rel. kg/m3	Type	Afv.	Bør	Er	Rec. kg
7 0-2 Fin sand	2640	859,4	860	0,1	12,56	1,5	830	Auto				
92 4-8 Velde	2620	121,6	120	-1,3	0,476	0,4	120	Auto				
93 8-16 Velde	2630	793,6	790	-0,5	1,884	0,24	790	Auto				
91 0-4 Velde	2660	0,000	0,0	0,000	0,6		0	Auto				
71 Cemex Miljø	3060	139,2	138,0	-0,8	0,000		138	Auto				
75 Cemex Rapid	3110	208,7	210,5	0,8	0,000		211	Auto				
66 Kaldtvann	1000	155,8	155,7	0,0	155,7		156	Auto				155,8
83 Master air 11	1000	1,740	1,75	0,6	1,729		2	Auto				
87 Glenium ACE 434	1070	2,087	2,10	0,6	1,537		2	Auto				
Mat./spulevand		1,000	1,000	0,0	1,000		1					
Total		2283	2279		174,9		2280					

Alarmdato	Kl.	Alarmtid	Kvit.tid	S/G-tid
20-05-2016	14:32		00:00:28	00:00:28
BLANDER 3, STOP valgt				
20-05-2016	14:32		00:00:33	00:00:33
BLANDEROPLUK 31, åbning/lukning for langsom, CONVEYORVOGN 2, rute ikke åbnet, modtagelse stoppet				

Elementteikningar

1250



PROJEKTID	ELMENT 1250
VERS. 7/4	1250
REVISJONNALE INNEHØL	10E-111E831
03/01/2013	03/31
25/05/2013	25/05/2013

FASADE

Foranstøtning av anning: -

Bygning: 6 EBS960

Overflate: 7 EBS960

Overflate: 20 EBS960

Overflate: 20 EBS960

Med 1 term. Gal. gal. gal.

Arbeid:

INNSTØNNINGSSETTELSE	BEREINNING/UTREINSE
PROS. PART. BEREINSE	BEREINNING/UTREINSE
07/02/13	12/05/13
12/05/13	12/05/13

LEVERINGS	ANT. KVAL.	Q1	LEVER.	ANT. KVAL.	Q1
K189	120	120	120	120	120
8400	2	8500C	12	8400	8

BYGGESETTELSE

Pos. Dimensjon | Beskrivelse | Sisse - | Ant. | m³ | Kvalitet |

500x1000	715	844	90	8500W	32
515	12	1180	8	8500C	32

1:120

B	T	Ferdig ledd	2016-10-11	P
A	T	Arbeidshendelse	2016-10-20	P
REV	ANT	REVISJONSBEGRUNNELSE	DATE	SR

ARBEIDETS TILBENNING

B88-Produktutvikling

Mastertingene Die

1250

3000 Block Norge AS

N-138 Kjøperveien 10

0454 Oslo

Tlf: +47 22 88 88 00

mailto:info@3000.no

www.3000.no

Elementhegning

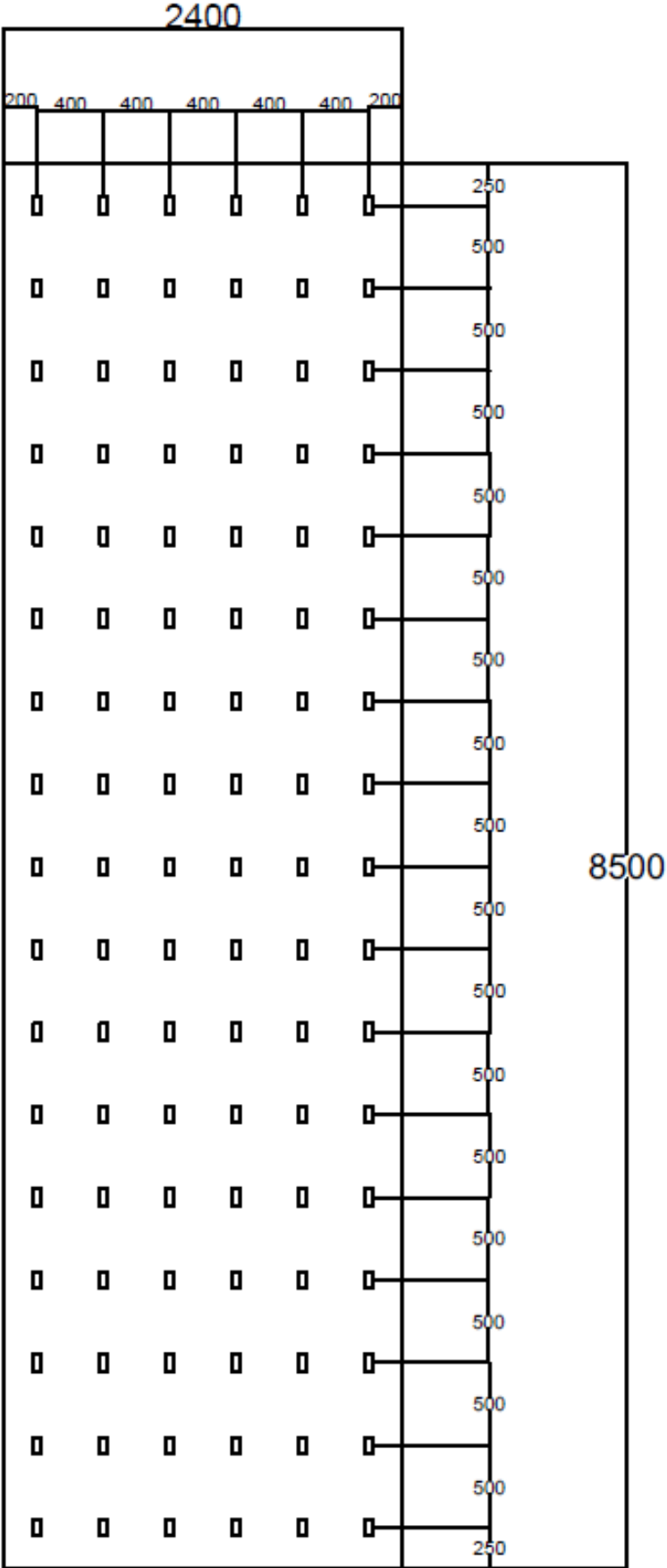
33-1250 B

120

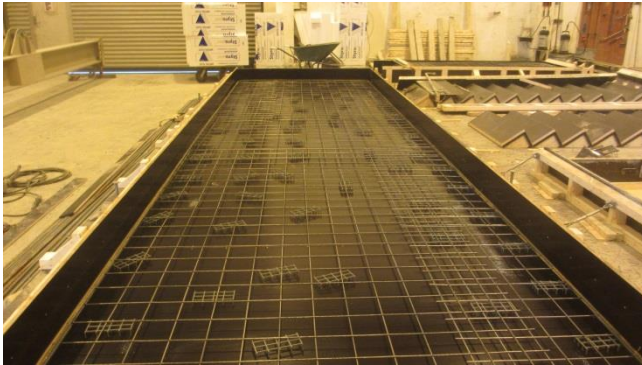
Copyright © Block Norge AS 2013

PLD 2016-06-14 10:20 T:\arev\1460\58432\konstruksjon\tegninger\33-Facades\33-1250.dwg

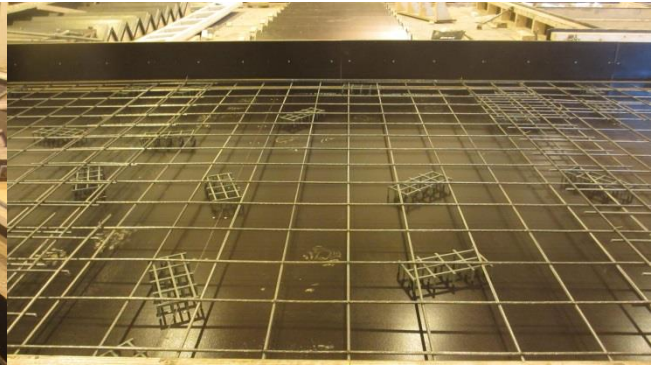
Plassering av CC sjiktforbinderar



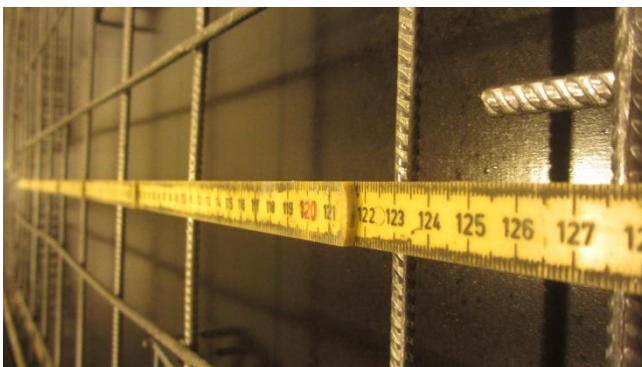
Bilete frå produksjonen



Vedleggsbilete 1 – Armeringa i yttersjiktet til 1250. 30mm overdekning



Vedleggsbilete 2 – Armeringsmattene måtte overlappast. Dei blei passa på at denne overlappinga ikkje kom midt på midten



Vedleggsbilete 3 – Midten av element 1250 hadde ein sone på 125cm mellom overlappingane



Vedleggsbilete 4 – Det var ca. 360cm frå kanten av elementet til overlappinga



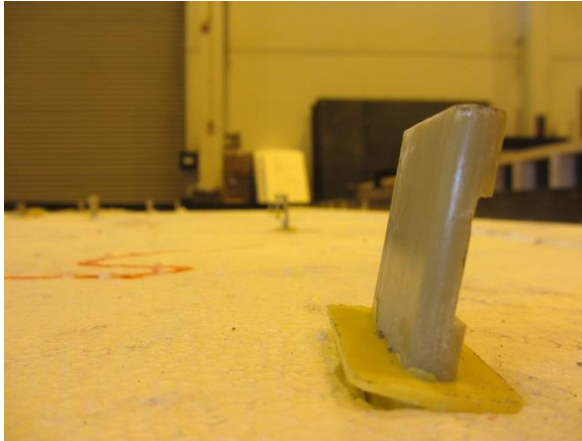
Vedleggsbilete 5 – Yttersjiktet i 1220 og 1180 blei nøye målt til å vera 5 cm



Vedleggsbilete 7 – Sann står sjiktforbinderane



Vedleggsbilete 6 – Sjiktforbinderane blei jamt systematisk plassert. Alle står same vegen.



Vedleggsbilete 8 – Nokre av sjiktforbinderane blei ståande litt skeivt



Vedleggsbilete 9 – Innersjikt i alle elementa blei jamna ut og glatta av



Vedleggsbilete 10 – Aksiallasta blir påført med hydraulisk jekk



Vedleggsbilete 11 – Rissa fordelte godt utover. Her på eit 1250 element



Vedleggsbilete 12 – Det tredje opplegget i midten. Til venstre kan det fjerde opplegget sjåast



Vedleggsbilete 13 – Lasta blir påført ved å heise ned det fjerde opplegget



Vedleggsbilete 14 – Dei fiberarmerte sjikta fekk svært store riss då all heft mellom fiber og betong forsvann



Vedleggsbilete 15 – Rissa strekte seg over hele sjiktet