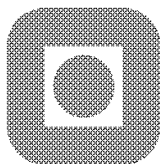


Industrigulv i betong

Hugo Andre Iversen

Master i Bygg- og miljøteknikk
Innlevert: juni 2018
Hovedveileder: Sverre Smeplass, KT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for konstruksjonsteknikk



INSTITUTT FOR KONSTRUKSJONSTEKNIKK
Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi
NTNU – Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet

MASTEROPPGAVE 2018

for stud. techn.
Hugo Andre Iversen

Industrigulv i betong

Concrete industrial floors

Innledning

Skanska bygger nytt logistikkenter og hoveddistributionslager for Bertel O. Steenkonsernet på Berger i Skedsmo kommune. Bygget har et totalt areal på 18 200 m², av dette er 16 500 m² industrigulv i betong. Det vil bli lagt storvekt på å produsere et gulv med høy bruksmessig kvalitet, og god slitestyrke. Brukeren er også opptatt av å minimalisere antall fuger i gulvet, fordi fuger gir bruksmessige og vedlikeholdsmessige ulemper.

Skanska vurderer 3 ulike gulvkonsepter:

- Tradisjonelt nettarmert gulv med fugeplassering tilpasset byggets aksesystem og lagerets trafikkmønster
- 2 ulike varianter av svinnkompensert, fiberarmert gulv (Mapei Expancrete og Primekss industrigulv), doble fugeavstander sammenlignet med det nettarmerte gulvet
- Etterspent gulv, fugefritt

Alle tre gulvene kan tenkes utført med stålglattet, stålglattet og polert, eller slipt overflate.

Oppgave

Oppgaven går ut på å beskrive og evaluere de tre alternativene mtp. prosjekteringskriterier, dimensjonering, funksjonalitet, produksjon og økonomi. Detaljløsningene

skal vurderes opp mot de anbefalingene som er gitt i Norsk Betongforenings publikasjon nr. 15 «Betonggulv - Gulv på grunn og påstøp».

Dersom det er mulig skal også endelig valgt løsning følges opp gjennom produksjonsperioden.

Gjennomføring

Oppgaven utføres ved Institutt for konstruksjonsteknikk i samarbeid med Skanska Norge AS. Gjennomføringen av oppgaven skal tilpasses de ressursene som stilles til disposisjon.

Oppgaven er utlevert 15. januar 2018. Besvarelsen skal innleveres innen 11. juni 2018.

Trondheim 15. januar 2018.

Sverre Smeplass
Prof. II

Forord

Masteroppgaven er gjennomført ved Institutt for konstruksjonsteknikk ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet, NTNU og i samarbeid med Skanska Norge AS. Denne oppgaven er den avsluttende delen av sivilingeniørstudiet ved bygg- og miljøteknikk med hovedprofil konstruksjonsteknikk.

Bakgrunnen for oppgaven er min interesse for betong og et ønske om å skrive masteroppgave i samarbeid med entreprenørbedriften Skanska. Tema for oppgaven er industrigulv i betong, og er valgt i samarbeid med Skanska. Dette temaet er valgt for å få større innsikt i prosjektering og utførelse av betonggulv, samt fordi dette er relevant for Skanska som skal bygge et logistikklager for Bertel O. Steen-konsernet på Berger i Skedsmo kommune. Masteroppgaven er knyttet opp til det nevnte prosjektet til Skanska, og inneholder en evaluering av alternative gulvkonsepter for gulvet i logistikklageret.

Oppgaven er skrevet på norsk språk. Det skyldes at den er gjennomført i samarbeid med Skanska Norge AS, og med utgangspunkt i byggeprosjekt i Norge, flere norskspråklige publikasjoner og annen norsk faglitteratur.

I arbeidet med oppgaven har jeg hatt kontakt med bidragsytere som villig vil dele informasjon, men også ansatte i bedrifter som ikke vil dele opplysninger som de anser som bedriftshemmeligheter. Grunnlaget for evalueringen av gulvkonseptene er derfor noe tynt for enkelte av disse.

I denne anledningen vil jeg takke Skanska for at jeg har fått gjennomført oppgaven i samarbeid med Skanska. Jeg vil takke spesielt prof. II Sverre Smeplass som har vært veilederen min både fra Skanska og fra NTNU. Videre vil jeg takke Steinar Trygstad i Thilt Engineering AS for informasjon om gulvkonseptet med etteroppspent armering, Håkon Sælen i Skanska for informasjon om konseptet med tradisjonell nettarmoring og Ğirts Kļaviņš fra Primekss Norge for informasjon om fiberarmert konsept fra Primekss.

Trondheim, 08.06.2018



Hugo André Iversen

Masterstudent, NTNU

Sammendrag

Rapporten har til hensikt å evaluere fire alternative gulvkonsepter for industrigulv i betong knyttet opp mot et spesifikt industrigulv som skal ha minst mulig riss og fuger. Dette er viktig for å oppnå høy brukskvalitet, vedlikeholdsvennlighet og god slitestyrke. Det spesifikke gulvet skal produseres i et logistikklager som Skanska skal bygge for Bertel O. Steen på Berger i Skedsmo kommune. De fire gulvkonseptene som evalueres er tradisjonelt nettarmert gulv med fuger, to gulvkonsepter som kalles Primekss Industrigulv og Mapei Expancrete, som har en felles gulvløsning med fiberarmering og svinnkompensert betong og et fjerde gulvkonsept som er et etterspent gulv uten fuger.

I rapporten beskrives industrigulv og konstruksjonsprinsipp. Sistnevnte inneholder en del viktige forutsetninger for dimensjonering og informasjon om hvert av gulvkonseptene. I tillegg er det en prosjektspesifikk del. Det tynneste tverrsnittet oppnås med Primekss Industrigulv. Etterspent gulv er det eneste konseptet som kan gi varige riss- og fugefrie gulv.

Utførelsen beskrives for alle konseptene. Primekss Industrigulv kan produseres mest effektivt ettersom dette konseptet har en mindre gulvtykkelse, er fiberarmert slik at det oppnås en tidsbesparelse ved at det er minimalt med armering og at det benyttes tunge maskiner som gir rask utlegging og avretting av betongen. I tillegg vil produksjon med disse maskinene bidra til færre tunge arbeidsoperasjoner for arbeiderne.

Alle gulvkonseptene skal overflatebehandles etter et felles konsept. Dette innebærer brettiskuring, stålglattning, polering og impregnering med silikatbasert impregnering. Denne behandlingen gir en betongoverflate som har høy slitestyrke.

Kostnadene for de ulike konseptene evalueres med bakgrunn i en grovkalkyle utarbeidet av Skanska. Det kommer fram at det tradisjonelt nettarmerte gulvkonseptet som er det vanligste i Norge, er det dyreste konseptet. Primekss Industrigulv er helt klart det billigste konseptet.

Ut fra evalueringen i denne rapporten kommer Primekss Industrigulv best ut. Det skyldes en effektiv produksjon, en konstruksjon som har mindre tverrsnittshøyde og som gir reduksjon av materialforbruket, samt minimalt med riss. En må imidlertid være oppmerksom på at det benyttes et dimensjoneringsprinsipp som en ikke har kjennskap til i Norge, dermed anbefales det å gjennomføre prøvetester under produksjonen med dette konseptet, dersom dette velges.

Abstract

The report intends to evaluate four alternative floor concepts for concrete industrial floors linked to a specific industrial floor that will have the least possible cracks and joints. This is important in order to achieve high quality of use, be maintenance and good durability. The specific floor will be manufactured in a logistics warehouse that Skanska is going to build for Bertel O. Steen at Berger in the municipality of Skedsmo. The four floor concepts that are evaluated are traditionally net-reinforcement floors with joints, two floor concepts called PrīmXComposite floor and Mapei Expancrete that have a common floor solution with fiber reinforcement and shrink compensated concrete, and a fourth floor concept which is a post-tensioned floor without joints.

The report describes industrial floor and structural principles. The latter contains some important prerequisites for dimensioning and information for each of the floor concepts. In addition, there is also a project-specific part in the report. The thinnest cross section is achieved with PrīmXComposite floor. Post-tensioned floor is the only concept that can provide durable crack- and jointless floor.

The execution is described for all concepts. Because of the PrīmXComposite floor's lower floor thickness, fiber reinforcement, and use of heavy machinery which provides quick deployment and irrigation of the concrete. This can be produced most efficiently. In addition, production such machines will contribute to less heavy work operations for the workers.

The surface of all floor concepts should be treated with a common concept. This involve float-finishing, steel sizing, polishing and impregnation with silicate-based impregnation. This treatment provides a concrete surface with high durability.

The cost of the different concepts is evaluated based on a rough scale developed by Skanska. It appears that the traditionally net-reinforced floor concept, which is the most common in Norway, is the most expensive concept. PrīmXComposite floor is clearly the cheapest concept.

Based on the evaluation in this report, PrīmXComposite floor appears as the best alternative. This is due to efficient production, a construction which has a smaller cross-sectional height and which reduces the material consumption, as well as minimal cracks. One must note, however, that a dimensioning principle is used, which is unknown to Norway, therefore it is recommended to do tests during the production of this concept if this is chosen.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Formål.....	2
2	Prosjektbeskrivelse.....	3
2.1	Bertel O. Steen AS.....	4
2.2	Gulvkonsepter.....	4
3	Metode.....	5
3.1	Forutsetninger og avgrensninger	6
4	Industrigulv	9
4.1	Litteratur	10
5	Konstruksjonsprinsipper.....	12
5.1	Forutsetninger for dimensjonering	12
5.1.1	Framgangsmåte for dimensjonering av gulv	13
5.1.2	Eksempler på funksjonskrav	14
5.1.3	Svinn i betongen.....	14
5.1.4	Rissfordeling	17
5.1.5	Duktilitet.....	18
5.1.6	Gulvklasser.....	19
5.1.7	Laster.....	20
5.1.8	Bærelag.....	21
5.1.9	Flytende gulv.....	23
5.1.10	Fastholdte gulv	25
5.1.11	Kantreising	25
5.1.12	Fuger.....	27
5.2	Tradisjonelt slakkarmert gulv	32
5.2.1	Bruddgrensetilstanden.....	33
5.2.2	Gulvtykkelse.....	40

5.3	Fiberarmerte gulv	40
5.3.1	Generelt om fiberarmerte gulv	40
5.3.2	Prøving av fiberbetong	42
5.3.3	Dimensjonering	44
5.3.4	Fordeler med fiberarmerte gulv.....	46
5.3.5	Ulemper med fiberarmerte gulv	47
5.3.6	Fiberarmerte svinnkompenserte gulv	49
5.3.7	Dimensjonering	52
5.4	Etterspent gulv uten fuger.....	52
5.4.1	Materialer	55
5.4.2	Dimensjoneringsforutsetninger	56
6	Prosjektet BOS Berger	58
6.1	Generell prosjektspesifikk del	58
6.1.1	Bærelag.....	59
6.1.2	Glidesjikt	59
6.1.3	Fuger.....	60
6.1.4	Radonsperre.....	61
6.2	Generelt dimensjoneringsgrunnlag.....	62
6.2.1	Risikoklasse og brannklasse.....	62
6.2.2	Pålitelighetsklasse	62
6.2.3	Tiltaksklasse	62
6.2.4	Dimensjonerende brukstid.....	62
6.2.5	Kontroll av projekteringen.....	62
6.2.6	Lastfaktorer og grensetilstander	63
6.2.7	Vannstands nivå/grunnvannsnivå.....	64
6.2.8	Materialfaktorer, bruddgrensetilstand	64
6.2.9	Eksponeeringsklasse og bestandighetsklasse.....	64

6.2.10	Overdekning	65
6.3	Laster på konstruksjonen	67
6.3.1	Jevnt fordelte laster	67
6.3.2	Punktlaster fra reoler	67
6.3.3	Punktlaster fra roboter	67
6.4	Lastkombinasjoner.....	68
6.5	Tradisjonelt slakkarmert gulv	68
6.5.1	Dimensjonering av gulvkonstruksjonen.....	68
6.6	Mapei Expancrete	75
6.6.1	Dimensjonering av gulvkonstruksjonen.....	75
6.7	Primekss Industriegulv	75
6.7.1	Hardbetong	75
6.7.2	Dimensjonering av gulvkonstruksjonen.....	76
6.8	Etterspent gulv	80
6.8.1	Til dimensjonering av gulvkonstruksjonen	80
7	Utførelse av gulvkonseptene	82
7.1	Planlegging av utførelsen	82
7.2	Tradisjonelt nettarmert gulv	85
7.3	Mapei Expancrete	90
7.4	Primekss Industriegulv	93
7.5	Etteroppspent betonggulv	95
8	Overflatebehandling av betonggulv	98
8.1	Brettskuring	99
8.2	Stålglatting.....	100
8.3	Impregnering	101
8.4	Polering.....	103
9	Herdetiltak og etterbehandling	104

9.1	Herdemembran	105
9.2	Tildekking med plastfolie	106
9.3	Tildekking med fiberduk	106
9.4	Vanning	107
9.5	Herdetiltak for aktuelle gulvkonsept	107
10	Økonomi.....	108
10.1	Tradisjonelt nettarmert industrigulv	109
10.2	Mapei expancrete med svinnkompensert betong.....	111
10.3	Primekss industrigulv.....	112
10.4	Etterspent gulv	114
10.5	Samlet evaluering.....	115
11	Diskusjon.....	117
11.1	Noen fordeler og ulemper for gulvkonseptene	118
11.1.1	Tradisjonelt nettarmert gulv	119
11.1.2	Primekss Industrigulv.....	119
11.1.3	Etterspent gulv.....	120
11.2	Fastholdning.....	121
11.3	Restbøyestrekfasthet	121
11.4	Dimensjonering.....	122
11.5	Usikkerheter	123
11.6	Slitestykke	123
11.7	Hardbetong.....	123
11.8	Overflatebehandling.....	124
11.9	Oppsummering.....	124
11.10	Kritikk til NB 15 [8]	125
11.11	Feilkilder	126
11.12	Videre arbeid.....	126

12	Konklusjon	129
13	Referanser.....	130
Vedlegg A:	Produktinfo «Alphajoint classic 4010, Permaban»	2
Vedlegg B:	Dimensjonering av Primekss Industrigulv	5

Figurligste

Figur 1: Det nye logistikk- og distribusjonslageret til Bertel O. Steen-konsernet [5].	3
Figur 2: Vannmenisk i en kapillærpore [1].	15
Figur 3: Dannelse av plastisk svinn og svinnriss [1].	17
Figur 4: Forholdet mellom masseforholdet og permeabiliteten til betongen [1].	17
Figur 5: Omtrentlig volumfordeling av delmaterialene i betong [27].	18
Figur 6: Skisse som viser hvordan flytende gulv kan frigjøres fra fastholdningspunkter [8].	23
Figur 7: Eksempel på flytende gulv uten fastholdningspunkt, med ett fastholdningspunkt og to fastholdningspunkter [8].	24
Figur 8: anbefalte armeringsløsninger ved detaljer i gulvet [8].	24
Figur 9: Tverrsnitt av flytende betonggulv med glidesjikt, bærelag og sandavretting [8].	25
Figur 10: Tverrsnitt av flytende betonggulv med glidesjikt, isolasjon, sandavretting og bærelag [8 [1]].	25
Figur 11: Beregning av kantroising og lengden delen av gulvet som løftes opp ved en bestemt svinn-krumningstilstand [8].	26
Figur 12: Sagd fuge med dybler og ikke gjennomgående armering [8].	28
Figur 13: Eksempler på fugeprofiler [8].	29
Figur 14: Prinsipp for isolasjon mellom betonggulv og fundament [11].	30
Figur 15: Prinsipp for opprissing og deformasjon av betonggulv forårsaket av punktlast [26].	34
Figur 16: Deformasjonen og bruddlinjemønsteret for en punktlast inne på gulvet [8].	35
Figur 17: Fiber med krok [32].	41
Figur 18: Fiberarmert betong [1].	42
Figur 19: 3-punkts prøvingstest av fiberarmert betong [19].	43
Figur 20: Reststrekkfasthet for ren fiberbetong [8].	45
Figur 21: Prinsipp for virkningen av Mapei Expancrete [34].	49
Figur 22: Primekss industrigulv [35].	51
Figur 23: Sentrisk spennarmert betongkonstruksjon (bjelke) [10].	53
Figur 24: Forankringskrefter ved endeforankring av spennarmering [10].	57
Figur 25: Fugeprofilet "Alpha classic 4010" [38].	60
Figur 26: Ovverdekning til en betongkonstruksjon [1].	65
Figur 27: Lastfordeling av den jevnt fordelte lasten på gulvet [Vedlegg B].	80
Figur 28: Signering av kontrollseddel fra betongleverandør [1].	87

Figur 30: Prinsipp for gunstig og ugunstig støpefront [1].....	88
Figur 31: Avretting av betonggulv med dissestav og påføring av herdemembran [8].....	89
Figur 32: Dissing av betong [44].....	89
Figur 33: Synkmål [1].	91
Figur 34:Synkutbredelse (SU) [1]	92
Figur 35: Avtrekking av betong med balansert laserstyrt avtrekker på hjul [8].....	92
Figur 36: Utlegging av betong med dumperbil [45].	94
Figur 37: Avretting av betongen pågår nærmest, og strøing av tørrstoff til hardbetongen pågår lengst bak [46].....	94
Figur 38: Støping av et spennarmert dekke [7].	97
Figur 39: Brettskuring med dobbelmaskin [8].	99
Figur 40: Stålglatting [8].	100
Figur 41:Dobbelt helikopter [8].	101
Figur 42: Påføring av vannglass (silikatbasert impregnering) [1].....	103
Figur 43: Plastiske svinriss [8].....	104
Figur 44: Tildekking av betonggulvet med plastfolie [34].	106
Figur 45: Utlegging av fiberduk [34].	106

Tabelliste

Tabell 1: Gulvklasser ved prosjektering og utførelse av flytende gulv [8].....	19
Tabell 2.: Typiske verdier for grunnens stivhet, k [8].....	22
Tabell 3: Dimensjonerende verdier for laster (utdrag fra sett A i tabell NA.A2.4(A) i NS-EN 1990) [12].....	63
Tabell 4: Dimensjonerende verdier for laster (utdrag fra sett B i tabell NA.A2.4(B) i NS-EN 1990) [12].....	63
Tabell 6: Valg av armering i et gulv med tykkelse på 200 mm [31].....	69
Tabell 7: Anbefalt korteste periode med herdetiltak for gulv med strenge krav til overflaten [8].	105
Tabell 8: Felles forutsetninger for gulvkonseptene [7]	108
Tabell 9: Kostnadsoverslag for tradisjonelt nettarmert gulv [7].	109
Tabell 10: Kostnadsoverslag for gulvkonseptet med Mapei Expancete som er fiberarmert med svinnkompensert betong [7].	111
Tabell 11: Kostnadsoverslag for gulvkonseptet Primekss Industriegulv [7].	112
Tabell 12: Kostnadsoverslag for gulvkonseptet etterspent gulv [7].....	114

1 Innledning

Skanska skal bygge nytt logistikk og hoveddistribusjonslager for Bertel O. Steen-konsernet på Berger i Skedsmo kommune, og i den forbindelse skal gulvet i denne bygningen vurderes nærmere. Det finnes flere alternative løsninger til hvordan industrigulv i betong kan bygges opp, og hver av disse har både fordeler og ulemper. I det nevnte prosjektet er det fire forskjellige gulvkonsepter for industrigulv i betong som er aktuelle, og hver av disse skal evalueres i denne rapporten. Det er viktig å vurdere disse godt, da det i dette prosjektet vil legges stor vekt på å produsere et gulv med høy bruksmessig kvalitet, er vedlikeholdsvennlig og har god slitestyrke. Brukeren er også opptatt av å minimalisere antall fuger i gulvet, fordi fuger gir bruksmessige og vedlikeholdsmessige utfordringer.

Det er fire ulike gulvkonsepter som skal vurderes av Skanska. Gulvene i disse konseptene kan tenkes utført med stålglattet, stålglattet og polert, eller slipt overflate. I denne rapporten beskrives og evalueres de fire alternativene gulvkonseptene med hensyn til prosjekteringskriterier, dimensjonering, funksjonalitet, produksjon og økonomi.

Første del av oppgaven inneholder en teoridel om industrigulv i betong. Videre er det en stor del om konstruksjonsprinsipper som inneholder viktig informasjon som må tas hensyn til ved prosjektering av betonggulv, beskrivelse av konstruksjonsprinsippene for de forskjellige gulvkonseptene, samt noen prinsipper for dimensjonering av de ulike konseptene for gulv på grunn.

Det er også en prosjektspesifikk del om dette prosjektet til Bertel O. Steen, som kalles BOS Berger. I denne delen er det mer informasjon som er knyttet opp til prosjektet, samt noen eksempler på dimensjoneringsberegninger for deler av dimensjoneringen av ulike gulvkonsept.

Videre beskrives produksjon og utførelsen av de fire gulvkonseptene. Overflatebehandling og herdetiltak som er viktig for å oppnå et gulv med høy fasthet og minst mulig riss beskrives også. Dette er essensielt for å oppnå et gulv med god funksjonalitet.

Når det gjelder evaluering av økonomien for de ulike løsningene, skal grovkalkylen av som er utarbeidet av Skanska for gulvkonseptene, evalueres nærmere og kvalitetssikres.

Generelt skal detaljløsningene vurderes opp mot de anbefalingene som er gitt i Norsk Betongforenings «Publikasjon nr. 15 Betonggulv – Gulv på grunn og påstøp» (NB 15) .

1.1 Formål

Formålet med oppgaven er å beskrive og evaluere fire alternative gulvkonsepter for industrigulv som skal ha minst mulig riss. Dette for å få mer kunnskap og informasjon om de aktuelle gulvkonseptene, både når det gjelder prosjekteringskriterier, dimensjonering, funksjonalitet, produksjon og økonomi. Denne oppgavebesvarelsen kan dermed benyttes som støttelitteratur i framtidige byggeprosjekter i forbindelse med planlegging av industrigulv og valg av gulvkonsepter. Visjonen er å kunne støpe et industrigulv i betong med minst mulig fuger, for å oppnå et gulv med høy bruksmessig kvalitet og god slitestyrke.

2 Prosjektbeskrivelse

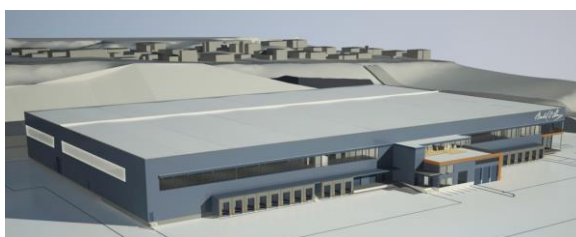
Grus Eiendom AS som er datterselskap til Bertel O. Steen Eiendom AS, skal bygge nytt logistikk-senter og distribusjonslager med tilhørende kontorer, se Figur 1. Bygget skal leies ut til Bertel O. Steen Logistikk AS. Tiltaket har geografisk plassering på Gnr. 58, Bnr. 16 og 487, i Felt C i Trondheimsveien på Berger i Skedsmo kommune [2].

Det nye logistikk- og distribusjonsbygget skal ha et totalt areal (BTA) på 18 045 m² og et grunnflateareal (BYA) på 15 541 m² [2]. Bygget skal være over to plan, der 1. etasje skal inneholde lager, hovedatkomst, garderober og tekniske rom, og 2. etasje som er en mesanin, skal inneholde kontorer. Bygget er planlagt for totalt omtrentlig 100 arbeidere [2]. Det er ifølge rammesøknaden [2] bestemt at bygget skal oppfylle krav i henhold til «Byggteknisk forskrift (TEK 10)». Bygget er planlagt utformet som et rektangulært bygg på 96 x 156 m. Bæresystemet til byggverket skal bestå av fagverkskonstruksjoner i stål med korrugerte stålplater i tak, mesanindekket skal bestå av stålkonstruksjon med prefabrikkerte hulldekkeelementer i betong, dekket i 1. etasje skal være gulv på grunn og fasadene skal bestå av sandwich-elementer [2].

De geotekniske forholdene på byggetomten er undersøkt av Løvlien Georåd. Ifølge geotekniske rapporter består grunnen av løsmasser som sand, grus og stein med ulik dybde ned til fjell. Tomten som logistikk-lageret skal bygges på, skal overleveres Grus Eiendom AS ferdig avrettet og komprimert, klart til fundamentering.

Det er planlagt at bygget skal fundamenteres på delvis undersprengt berg og delvis på godt komprimerte masser fra stedet, og at eventuelle uegnede masser transporteres bort. Bygget må også delvis fundamenteres på en liten fylling som skal bestå av masser som er egnet til dette og disse skal komprimeres godt [3].

Prosjektet utføres som en totalentreprise med Skanska Norge AS som totalentreprenør, og har en kontraktsverdi på 220,5 millioner kroner [4].



Figur 1: Det nye logistikk- og distribusjonslageret til Bertel O. Steen-konsernet [5].

2.1 Bertel O. Steen AS

Konsernet Bertel O. Steen AS er en av de største bedriftene i Norge innen service og handel, har omtrentlig 2 350 ansatte og har hovedkontor i Lørenskog kommune. Bertel O. Steen AS er forhandler av bilmerkene Mercedes-Benz, Peugeot, Citroën, DS, Fuso, Setra, Kia og Smart. Omsetningen til konsernet var i 2016 på 8,27 milliarder kroner [1]. Datterselskapet Bertel O. Steen Eiendom AS som logistikkcenteret vil være underlagt, har en eiendomsportefølje på omtrentlig 170 000 m² [4].

2.2 Gulvkonsepter

I logistikkbygget til Bertel O. Steen har Skanska i første omgang vurdert 3 ulike gulvkonsepter for industrigulvet. Disse er:

- Gulvkonstruksjon med tradisjonell nettarmoring med fugeplassering som tilpasses byggets aksesystem og lagerets trafikkmønster. Det kan oppnås gulvfelt med størrelser på omtrentlig 600 m².
- Mapei Expancrete som er et fiberarmert konsept med svinnkompensert betong. Med dette konseptet oppnås det fugeavstander som er dobbelt så store i forhold til det tradisjonelt nettarmerte konseptet. Størrelsene på gulvfeltene vil være omtrentlig 2000 m².
- Etteroppspent gulv som gir et fugefritt gulv.

Disse vurderes i hovedsak opp mot hverandre i forhold til pris, men også i forhold til byggherrens krav om et gulv med minst mulig riss og fuger. Etter en tid kom det opp et fjerde alternativ for gulvløsning for betonggulvet, som leveres av det latviske selskapet Primekss, kalt Primeks Industrigulv. Dette betonggulvkonseptet er et fiberarmert konsept og inneholder i tillegg et svinnreducerende tilsetningsstoff som gir en svinnkompensert betong. Dette konseptet vil gi en fugeavstand som er omtrent den samme som for konseptet fra Mapei. Primekss Industrigulv ble først aktuelt som alternativ etter at en av Skanskas produksjonsledere, Ingar Berg, anbefalte dette konseptet videre etter at han hadde fått mer informasjon om Primekss gjennom kontakt med Bjørn Girmann i Skanska og Primekss Norge på byggevaremessen «ByggReisDeg» i Lillestrøm [6]. Skanska valgte dermed å ta dette betonggulvkonseptet med som det fjerde alternativet i vurderingen av gulvkonsept for betonggulvet til Bertel O. Steen [7].

3 Metode

I arbeidet med denne rapporten er det benyttet en kvalitativ metode i form av intervjuer og dokumentanalyse av litteratur funnet ved et litteratursøk. I litteratursøket er det benyttet søkemotorer og databaser som Oria, Google Scholar, Google, Lovdata, Norsk betongforening, SINTEF Byggforsk, Standard Norge og søk etter litteratur i referanselister til relevante kilder. Relevante publikasjoner og standarder er lastet ned fra Norsk betongforening og Standard Norge. I Lovdata er det gjennomført søk for «Byggteknisk forskrift (TEK 10)». I tillegg er SINTEF Byggforsk benyttet som søkemotor for å søke etter relevante byggdetaljblad. Ved søk etter litteratur i de oppgitte søkemotorene, er søkeord fra fagområdet betong benyttet. Det er gjennomført flest søk for «gulv på grunn» og «betonggulv».

I første omgang ble det gjennomført overordnede søk, og deretter mer spesifikke søk og med ulike kombinasjoner av søkeord. Det er også benyttet ulike kriterier for filtrering av søkeresultater, for å finne den mest relevante litteraturen i tilfeller der søket resulterte i altfor mange treff. Noen av disse databasene har også hjelpefunksjoner, der for eksempel «AND» og «OR» kan benyttes mellom søkeord to søkeord, for å få opp treff som inneholder begge søkeordene eller ett av de to søkeordene.

Det er gjennomført telefonintervjuer med personer i Skanska, Thilt Engineering, Primekss Norge, Mapei og Peab. I forkant av de fleste telefonintervjuene ble det sendt e-post med spørsmål for å få mer detaljert informasjon om de ulike gulvkonseptene. E-postene med spørsmål ble i hovedsak sendt for at de kunne gi gode svar i skriftlig form. Ved å sende spørsmålene skriftlig kan en ha spørsmålene og svarene tilgjengelig slik at en fortsatt kan vurdere disse etter en tid, slik at det kan brukes tid på å finne informasjon for å kunne gi gode svar på spørsmålene og mulighet for å bruke svarene en gang i framtiden. I tillegg er det gjennomført telefonintervju med Hans Stemland, en av forfatterne av NB15 [8].

Det er også gjennomført veiledningsmøter der det er gitt faglig informasjon. I tillegg er det deltatt på foredrag om NB15 [8] i regi av Norsk betongforening.

En stor del av arbeidet er en gjennomgang av dimensjoneringsprinsipp og praktisk bruk av disse i et konkret tilfelle, samt en beskrivelse av utførelsesmetoder for produksjon av en konstruksjon i det samme tilfellet.

3.1 Forutsetninger og avgrensninger

For å kunne utarbeide denne rapporten innenfor de tildelte ressursene, må det gjøres noen avgrensninger for å få ferdigstilt rapporten innen fristen. Det er i tillegg nødvendig å avklare flere ukjente forhold som kommer fram underveis i arbeidet med rapporten, for å komme videre i arbeidet.

Før oppstart av selve arbeidet med denne rapporten, ble det bestemt at NB 15 ikke skulle etterfølges fullstendig. Hovedårsaken til denne beslutningen er at denne publikasjonen er utgitt etter at planleggingen av det aktuelle gulvet ble igangsatt.

I denne oppgaven er det flytende gulv som er aktuelt, og dermed vil det kun bli gitt en generell informasjon om fastholdte gulv. Fastholdte gulv er spesielt aktuelt for påstøper oppå eksisterende konstruksjoner, og er ikke spesielt relevant for det aktuelle prosjektet. Dermed er påstøper ikke beskrevet nærmere i denne rapporten og kun en kort presentasjon av fastholdte gulv.

Underveis i arbeidet med rapporten er dimensjoneringsgrunnlag for alle gulvkonseptene etterspurt, men det er kun gitt tilgang til to av de totalt fire alternative gulvkonseptene. De konseptene det ikke er gitt tilgang til dimensjoneringsgrunnlag for, er etterspent gulv og Mapei Expancrete. Dette betyr at bakgrunnsgrunnlaget for gjennomføringen av denne rapporten, og grunnlaget for å kunne evaluere gulvkonseptene godt, er mye svakere enn det som var forutsatt ved oppstarten av arbeidet. I oppstartsfasen ble det forutsatt at dette skulle bli gitt tilgang til av leverandørene for de ulike konseptene.

I samarbeid med veileder er det bestemt at det skal utføres noen beregningseksempler, men ikke en fullstendig dimensjonering av gulvkonstruksjonen for de alternative gulvkonseptene. Dette er bestemt med bakgrunn i at oppgaven opprinnelig har et stort omfang, og må begrenses en del for at én person kan gjennomføre den innenfor de tildelte ressursene.

Det er bestemt at det aktuelle industrigulvet skal dimensjoneres primært for laster og sekundært for riss [7]. I tillegg var ikke NB15 [8] utgitt enda da Skanska igangsatte planleggingen av industrigulvet til Bertel O. Steen. Gulvet dimensjoneres derfor i denne rapporten primært i bruddgrensetilstanden, og ikke i bruksgrensetilstanden.

I denne rapporten som omhandler industrigulvet i logistikkcenteret til Bertel O. Steen, utelates beregninger av horisontale laster, fordi det har liten betydning for den totale belastningen på gulvet, sammenlignet med punktlastene og den jevnt fordelte lasten som gulvet skal

prosjekteres for [7]. Det oppgis kun formler i rapporten som benyttes for dimensjoneringen av gulvet i prosjektet BOS Berger.

I arbeidet med denne rapporten velges det å ikke benytte programvare som «G-prog» til dimensjonering av gulvkonstruksjonen. Dette fordi det vil ta en del tid å sette seg inn i bruken av programvaren, og det vil ikke være avgjørende for resultatene og evalueringen av gulvkonseptene i rapporten.

Opprinnelig var oppfølging av produksjonen av industrigulvet på byggeplassen også en del av oppgaven, men på grunn av at det aktuelle prosjektet er forsinket og at Skanska ikke har igangsatt arbeidet på byggeplassen, er dette ikke lenger en del av oppgaven. Det er likevel nok å arbeide med innenfor de tildelte ressursene, da det har vist seg at de andre delene av oppgaven er mer omfattende enn først antatt.

I betongkonstruksjoner kan det oppstå riss på grunn av klorider, men den aktuelle gulvkonstruksjonen er ikke i kontakt med klorider på grunn av at konstruksjonen er innendørs, plassert langt fra saltvann, og dermed behandles ikke kloridinntrengning i betong i denne rapporten. Mer informasjon om hvilken eksponeringsklasse for konstruksjonen og valg av overdekning, behandles i den prosjektspesifikke delen av rapporten. Bestandighetsklassen til betong velges med bakgrunn i eksponeringsklasser, altså hva betongen eksponeres for [9]. Dersom betongen plasseres i et miljø der den vil få høy grad av eksponering, må betongen ha høy bestandighet. Bestandighetsmessige forhold er i liten grad vurdert i denne rapporten.

Fiber i kombinasjon med slakkarmering omtales ikke fordi ingen av de alternative gulvløsningene inneholder denne kombinasjonen av armering. I det aktuelle prosjektet er det makrofibrer i stålmaterialer som er aktuelt, og dermed vil de andre fibertypene ikke beskrives noe nærmere i denne oppgaven.

Kryp er tøyning på grunn av langtidslast som virker på betongen [10]. Dette kan forklares med at dersom betongen utsettes for trykk fra laster over lang tid, vil den fortsette å trykkes sammen etter at den har blitt presset sammen under lastpåføringen. Kryp vil forekomme i etterspent gulv, på grunn av at betongen presses sammen ved oppspenning av spennkablene. Kryptet vil for denne typen konstruksjoner medføre spennkrafttap, men dette ivaretas ved dimensjoneringen av disse [7].

Det antas at et eventuelt kryp i betongen som skyldes andre forhold ikke vil påvirke gulvets kvalitet, på grunn av at hele gulvet er plassert mot grunnen. Blant annet vil tverrsnittets høyde derfor ikke ha stor betydning for kryp, når det er jordtrykk under hele betonggulvet. Kryp omtales derfor ikke i denne rapporten.

I denne oppgaven utelates spennkrafttap på grunn av at temperaturforskjell er utelatt i denne rapporten. Dette er imidlertid mest aktuelt for førøppspente elementer.

Proporsjonering av betongen omtales ikke i detaljer, fordi det er mange andre temaer som er mer relevant for oppgaven, og må prioriteres foran dette temaet. Proporsjoneringen er imidlertid ikke avgjørende for valg av gulvkonsept. Denne avgrensningen må gjøres for at oppgaven skal kunne gjennomføres innenfor de tildelte ressursene.

Det anbefales generelt at også temperaturen i betongen måles, men det antas at det ikke er fare for lav temperatur i logistikkbygningen, der industrigulvet skal støpes. Derfor er det ikke aktuelt å måle betongens temperatur under utstøpingen av industrigulvet til Bertel O. Steen.

Når det gjelder overflatebehandling, omtales ikke belegg og hydrofob behandling av betongoverflaten i denne rapporten, fordi det kun er aktuelt å impregnere det aktuelle gulvet.

I kapitlet der økonomien for de ulike gulvkonseptene er tema, gjøres det i henhold til grovkalkylen som er utarbeidet av Skanska noen antakelser for beregning av kostnadene. For tradisjonelt nettarmert gulv antas det at det armeres med fire ganger den minste armeringsmengden ($A_{s,min}$) som tilsvarer en armeringsmengde med et tverrsnittsareal på 1800 mm² pr. meter bredde, som igjen tilsvarer 140,4 kg armering pr. m³. For konseptet Mapei Expancrete antas det 20 kg armering pr. m³, og for etterspent dekke antas det 2 kg armering pr. m³ i henhold til den nevnte grovkalkylen.

4 Industrigulv

Industrigulv i betong er gulv som skal tåle store belastninger fra tunge maskiner, trucker, reoler. Industrigulv er flytende gulvkonstruksjoner som i samarbeid med et bærende underlag, skal kunne ta opp de vertikale lastene som gulvet belastes med [11].

Riktig dimensjonering og utførelse av industrigulv i betong er viktig for å oppnå god kvalitet og for å unngå skader på gulvet. Typiske skader etter kort tid er oppsprekking, avskalling, manglende fall, ujevnheter og uønsket kvalitet på overflaten [8]. Vanlige langtidsskader er kanteising, oppsprekking, slitasje, delvis knusing og avskalling.

Det er viktig at betongen og underlaget som er bærelaget til gulvet, har tilstrekkelig stivhet. Dette har stor betydning for eventuelle deformasjoner i gulvet og andre påkjenninger [11].

Betonggulvet bygges oftest opp i flere gulvfelt med fuger mellom hver av disse feltene. Det finnes flere forskjellige fugeløsninger som det kan velges mellom. Årsaken til at betonggulv deles opp i felt, er for å ta opp bevegelser i gulvet, samt svinn i betongen. Dersom betongen ikke får mulighet til å trekke seg sammen, vil det kunne oppstå mye riss i betongen. Dette vil gi en betong med lavere styrke og gi en mindre pen gulvoverflate som vil ha mange synlige riss.

For industrigulv i betong finnes det flere alternative løsninger for oppbyggingen av gulvkonstruksjonen. De ulike løsningene for oppbyggingen av gulvet har ulikheter både i prosjektering og i utførelse.

For å oppnå et gulv med god styrke og bestandighet, samt med minst mulig riss, er det viktig å produsere et gulv med høy tetthet [8]. Bearbeidingen av betongen kan ha betydning for permeabiliteten til overflatesjiktet i gulvet. Generelt vil tettheten til betongen være høyest ved et lavt masseforhold og høy fasthetsklasse.

4.1 Litteratur

For å oppnå et industrigulv med et godt sluttresultat er det nødvendig med et godt prosjekteringsgrunnlag og god utførelse. Litteratur som er aktuell i forbindelse med dette arbeidet, er følgende forskrifter tilhørende veiledninger, eurokoder med tilhørende nasjonale tillegg (NA), publikasjoner:

- Norsk Standard NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016
Eurokode 0: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner [12]
- Norsk Standard NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2008
Eurokode 1: Laster på konstruksjoner Del 1-1: Allmenne laster Tetthet, egenvekt, nyttelaster i bygninger [13]
- Norsk Standard NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008
Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner, Allmenne regler og regler for bygninger [14]
- Norsk Standard NS-EN 206:2013+A1:2016+NA:2017
Betong: Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar [9]
- Norsk Standard NS-EN 13670:2009+NA:2010 Utførelse av betongkonstruksjoner [15]
- Norsk Standard NS-EN 1504-1 2. utgave november 2005
Produkter og systemer for reparasjon av betongkonstruksjoner.
Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar. Del 1: Definisjoner [16]
- Norsk Standard NS-EN 3420-F:2008 Beskrivelsestekster for bygg, anlegg og installasjoner Del F: Grunnarbeid – Del 1 [17]
- Norsk Standard NS-EN 3420-L:2010 Beskrivelsestekster for bygg, anlegg og installasjoner. Del L: Betongarbeider [18]
- Norsk Standard NS-EN 14651:2005+A1:2007 Prøvmingsmetode for betong med metalliske fibere. Måling av bøyestrekfasthet (proporsjonalitetsgrense og reststrekfastheter) [19]
- Norsk Betongforening Publikasjon nr. 14 Spennarmeringsarbeider, januar 2016 [20]
- Norsk Betongforening Publikasjon nr. 15 Betonggulv Gulv på grunn og påstøp oktober 2017 [8].

- SINTEF Byggforsk: Byggedetaljblad 522.117 – Industrigolv av betong på grunnen, 2004 [11]
- SINTEF Byggforsk: Byggedetaljblad 522.111 – Betonggolv på grunnen, 2003 [11]

- Forskrift om byggesak (Byggesaksforskriften, SAK 10) [21]
- Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift, TEK 10) [22]
- Veiledning til byggteknisk forskrift (TEK 10) [23]

Det er viktig med en sammenstilling av flere av disse, samt generell kunnskap og god praksis fra bransjen, for å oppnå et godt grunnlag.

5 Konstruksjonsprinsipper

Dette kapitlet inneholder en beskrivelse av forutsetninger for dimensjonering av ulike konstruksjonsprinsipper, samt en generell beskrivelse av de fire gulvkonseptene som er aktuelle for denne rapporten.

5.1 Forutsetninger for dimensjonering

For å oppnå et industrigulv med et sluttresultat som innfrir forventningene til kvaliteten på gulvet, er det viktig å planlegge godt og lage en god beskrivelse som inkluderer både prosjektering og utførelse av gulvet, slik at det ferdige gulvet oppfyller de forhåndsbestemte kravene [24]. På denne måten kan skader og mangler ved gulvet unngås i større grad.

Når en skal i gang med prosjektering og utførelse av gulv på grunn, er det veldig viktig å tenke gjennom hvordan de vanligste skadetyper på gulv kan unngås. De vanligste skadene på denne typen gulv er riss og kantreising [8]. Dette skyldes i hovedsak feil eller mangelfull prosjektering og feil eller mangelfull utførelse. Noen eksempler på dette er at det prosjekteres med for liten armeringsmengde og med feil plassering av armeringen, og at det iverksettes manglende herdetiltak i utførelsesfasen. I tillegg vil betongsammensetningens totale svinn, spesielt uttørkingssvinnet vær en viktig årsak.

Når industrigulv skal prosjekteres, bør det bestemmes noen forutsetninger som bakgrunn for dimensjoneringen. Industrigulv prosjekteres oftest ut fra funksjonskrav, fordi det oftest er den bruksmessige kvaliteten til gulvet som er viktigst. Før oppstart av prosjekteringen bør forutsetningene fastsettes i fellesskap mellom byggherre, rådgivende ingeniør og utførende entreprenør [8].

Ved prosjektering etter funksjonskrav, prosjekteres gulvet fra overflaten og nedover i konstruksjonen til og med grunnen [24]. Byggherren må i dette tilfellet bestemme seg tidlig i planleggingsfasen for hva gulvet skal brukes til, og hvilke krav som skal stilles til gulvet. Det er spesielt viktig å bestemme hvilken overflate gulvet skal ha, fordi overflateresultatet er avhengig av gulvstøpen i hele gulvets tykkelse.

Funksjonskravene fra byggherren er avgjørende for prosjekteringen og utførelsen av gulvet [24]. Prosjekteringen skal resultere i en beskrivelse av oppbyggingen av betonggulvet, hvilke

laster og andre påkjenninger gulvet kan bli utsatt for [25]. Prosjekterende og utførende kan da velge løsninger, materialer og utførelsesmetoder som gir et gulv som oppfyller de forhåndsbestemte kravene til det ferdige gulvet, uten at det skal oppstå uheldige konfliktsituasjoner.

I NB15 [8] er det vist en generell punktvis framgangsmåte for dimensjonering av gulv. Denne er vist nedenfor, og benyttes for dimensjoneringen av de forskjellige konstruksjonsløsningene i det aktuelle industrigulvet i betong.

5.1.1 Framgangsmåte for dimensjonering av gulv

I NB 15 [8] anbefales følgende generelle framgangsmåte for dimensjonering av gulv:

- Avklare last og funksjonskrav med byggherre.
- (For gulv der gulvklasser skal benyttes, velges gulvklasser fra Tabell 1)
- Vurdere behovet for fuger
 - o Det anbefales generelt minst mulig fuger
- Bestemme gulvtykkelse i henhold til kapittel 4.2 Bruksgrensetilstand i NB 15 [8].
- For punktlaster ut fra tillatte spenninger i over- og underkant av gulvet i henhold til Tabell 4-1 i NB 15 [8].
- (For andre typer gulv hovedsakelig ut fra svinn- og rissviddekrav og fare for kantreising)
 - o Ikke aktuelt for gulvet til Bertel O. Steen, fordi gulvet skal dimensjoneres etter punktlaster og jevnt fordelt last.
- Vurdering av gulvets mulighet til å trekke seg mot midten med tanke på fastholdningspunkter og friksjon mot underlaget.
- Valg av armeringsform som slakkarmert, fiber eller en kombinasjon av disse.
- Bestemme armeringsmengde i henhold til kapittel 3.6 i NB 15 [8].
- Kontroll av skjærkapasitet for store punktlaster i bruddgrensetilstanden i henhold til NS-EN 1992-1-1 [14] og kapittel 4.5 i NB 15 [8].
- Reststrekkfastheten til fiberbetong må være kjent for å kunne bestemme fibermengden.
- Reststrekkfastheten bestemmes ved prøving i henhold til NS-EN 14651 [19] og avhenger først og fremst av fibertype, fibermengde og betongens trykkfasthet.
- Utarbeide produksjonsunderlag (plan- og snitt-tegninger) som viser fugeløsningene og mengde og plassering av armeringen

5.1.2 Eksempler på funksjonskrav

Eksempler på funksjonskrav som er aktuelt for industrigulv [24]:

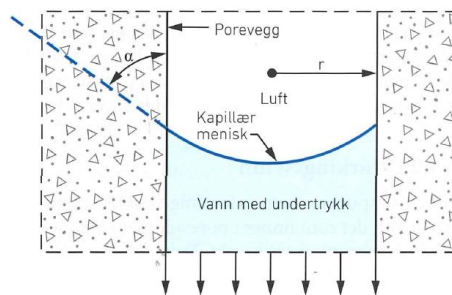
- Bæreevne:
 - Punktlast
 - Jevnt fordelt last
- Overflatebeskaffenhet:
 - Rissvidder og risspredning
 - Planhet
 - Støvfrihet
- Motstand mot nedbrytning:
 - Slitasjemotstand
- Vedlikeholdsegenskaper:
 - Rengjøringsvennlighet

Det kan oppstå konflikt mellom gulvets ulike egenskaper eller materialvalg, og derfor anbefales det å vurdere disse opp mot hverandre, samt vurdere godt hva som skal velges før entreprenøren skal i gang med utførelsen [24].

5.1.3 Svinn i betongen

Svinn i betong kan deles inn i ulike typer svinn som til sammen gir et totalt svinn. Det totale svinnet i betongen (ϵ_{cs}) består av to typer svinn, uttørkingssvinn (ϵ_{cd}) og autogent svinn (ϵ_{ca}) som også kalles selvuttørkingssvinn [10]. Uttørkings-svinn er svinn som skyldes uttørking av betongen til omgivelsene, som har lavere relativ fuktighet enn det porene i betongen har, og det vil dannes spenninger i betongen slik at betongen trekker seg sammen [1], [8]. Dette svinnet har en langsom utvikling, fordi det er avhengig av at fukt transporteres gjennom herdnet betong. Normal konstruksjonsbetong har et svinnpotensial på 0,6-0,9 ‰ ved uttørking til en relativ fuktighet på 50 % [1]. Denne betongtypen har normalt en strekktøyningkapasitet på 0,15 ‰, som tilsvarer nesten under en fjerdedel av svinnpotensialet. Betongen i gulv vil derfor risse opp, dersom den fastholdes ved for eksempel søyler. Armeringen i konstruksjonene skal bidra til å redusere risstørrelsen og fordele rissene. Det autogene svinnet dannes kort tid etter utstøping og dette er avhengig av betongens masseforhold [7]. Betong med lavt masseforhold har økt autogent svinn, men redusert uttørkingssvinn. Totalsummen er svakt avtagende med avtagende masseforhold.

For uttørkingssvinn er først og fremst vannmengden i betongen, sementtypen og relativ luftfuktighet (RF) i omgivelsene rundt betongen, avgjørende [8]. Et uttørkingssvinn dannes ved at det dannes menisker i kapillærporene i betongen, når vannet i betongen fordampes. Vannmenisk i en kapillærpore er vist i Figur 2. Disse meniskene gir sug i porevannet og trykk i skjelettstrukturen. Porestrukturen er av betydning for denne virkningen, og det er derfor en sammenheng mellom porediameteren og relativ luftfuktighet i betongen. Når porene tørker ut, vil porene med størst diameter tørke først ut, og deretter vil porene med mindre diameter tørke ut.



Figur 2: Vannmenisk i en kapillærpore [1].

Uttørking av betongen til omgivelsene vil kun skje fra den ene siden, og derfor vil betongen i overflaten tørke raskere ut enn resten av tverrsnittet, som igjen vil gi mer svinn i overflaten og mindre svinn i resten av betongtverrsnittet [8]. Dette vil medføre aksiell tøyning og krumning av tverrsnittet. Det vil da oppstå en egenspenningstilstand i betongen, der ytre laster ikke har innvirkning på spenningene. Disse spenningene vil avta når det dannes riss i betongen. Uttørkingssvinnet er den egenskapen til betongen som har størst betydning for hvordan betonggulv bør utformes [24].

I egenspenningstilstanden vil spenningene fra egenvekt, last og fastholdning være størst, derfor vil det i gulv kun være ved de frie kantene at det vil være en tilnærmet fullstendig egenspenningstilstand [8]. Dette medfører begrensning av lengden på gulvet som løfter seg på grunn av kantroising. Se 5.1.11 for mer informasjon om kantroising.

Autogent svinn i betongen innebærer at volumet til sementmassen reduseres når betongen herdner uten at fukt tas opp eller avgis til omgivelsene [20]. Dette svinnet vil være en effekt av et kjemisk svinn, på grunn av at det nevnte svinnet er en ytre effekt av hydratasjonen mellom vann og sement [8]. Både i avbindingsfasen og herdefasen vil autogent svinn eksistere. Men i herdefasen når betongen har fått en porestruktur, vil det autogene svinnet være et resultat av at porene tømmes ved hydratisering, på samme måte som for ytre uttørking

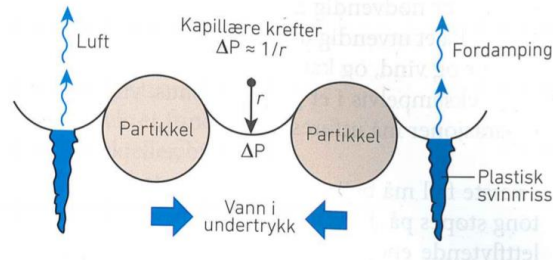
[7]. Derfor økes det autogene svinnet med avtagende masseforhold. Porene er her mindre i størrelse og kapillærkreftene i vannmenisker blir dermed større når porene tømmes for vann ved hydratasjon.

I den plastiske fasen er det autogene svinnet og det kjemiske svinnet det samme, det vil si at det er en volumreduksjon som oppstår som følge av at sementen reagerer kjemisk med vann (hydratiserer), og det dannes reaksjonsprodukter som har et mindre volum i forhold til reaktantene [1].

Det autogene svinnet som eksisterer etter at betongen har fått en skjelettstruktur, er det svinnet som kalles selvuttørkingssvinnet og som kan måles på herdet betong [8]. Det autogene svinnet som opptrer i avbindingsfasen er i hovedsak en setning i betongen når denne binder av.

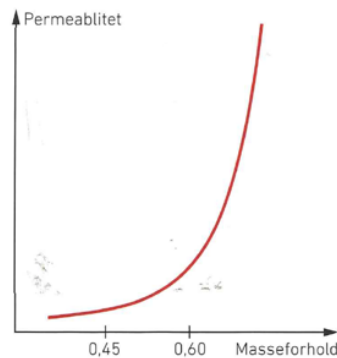
Masseforholdet til betongsammensetningen og sementtypen er avgjørende for størrelsen på det autogene svinnet [8]. I følge NB15 [8] kan en anta at det autogene svinnet vil være det samme i hele betongen, og dermed føre til at betongen vil få en jevn sammentrekning. Likevel vil det eksistere egenspenninger i betongen. Dette skyldes i hovedsak spenninger fra fastholdningspunkter og friksjon fra underlaget. Autogent svinn er ikke av betydning for at det oppstår kantsvinn i betonggulv.

Det er viktig å være oppmerksom på at det i avbindingsfasen også vil finnes et plastisk svinn, som dannes på grunn av hurtig uttørking til omgivelsene. Det er lett å ta feil av disse to typene svinn som forekommer i avbindingsfasen. Det plastiske svinnet er noe helt annet enn autogent svinn. Plastisk svinn dannes først i overflaten før betongen binder av, altså før betongen går over fra å være plastisk (flytende) til å ha en definert porestruktur [8]. Det vil dannes plastiske svinn i tilfeller der det er større avdampning fra betongoverflaten, i forhold til mengden vann som transporteres til overflaten. Risikoen for denne typen svinn vil da være størst ved støping av betong når det er gode fordampningsforhold som tilsvarende tørt vær og vind. På grunn av at betongen ikke har strekkfasthet før avbinding, vil det kunne dannes riss ved små spenninger. Risikoen er større for at det dannes plastiske svinn i betong med lave masseforhold, sammenlignet med betong med høyere masseforhold, fordi vannmengden er mindre i betong med lavt masseforhold. Dersom det dannes plastiske svinn i en betongplate, kan det gi sprekker og riss med en dybde så stor som halve tykkelsen til tverrsnittet. I Figur 3 er prinsippet for dannelsen av plastiske svinn og plastiske svinnriss vist.



Figur 3: Dannelse av plastisk svinn og svinnriss [1].

På grunn av at det totale svinnet er avhengig av masseforholdet som er forholdet mellom vann- og sementmengden, vil et større vann/sement-forhold gi et større totalt svinn. En sideeffekt ved å benytte lavt masseforhold i en betong, er at det kan oppnås økt bestandighet, fordi lavere masseforhold gir mindre porevolum og mer finfordelt poresystem slik at permeabiliteten reduseres. Avhengigheten mellom masseforholdet og permeabiliteten til betong er vist i Figur 4.



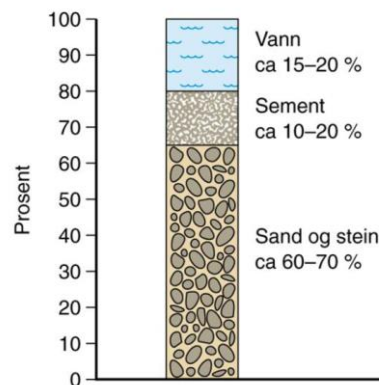
Figur 4: Forholdet mellom masseforholdet og permeabiliteten til betongen [1].

En betong med masseforhold 0,60 vil kun tørke ut til omgivelsene, mens en betong med 0,40-betong tørker ut omtrentlig halvparten til omgivelsene og andre halvpart ved selvuttørking på grunn av hydratisering [26]. For gulv vil uttørkingen til omgivelsene være størst. Fordelen med å benytte betong med masseforhold 0,60, er at betongen er lettere å arbeide med og flyter lettere utover, som er en spesielt viktig egenskap for betong til gulv. Når betongen herdner vil betongen få økt tetthet og styrke som følge av at sementen hydratiserer.

5.1.4 Rissfordeling

I betong er ca. 70 % av betongvolumet tilslagskorn, som vist i Figur 5 [1]. Disse bidrar sterkt til å begrense risspredning i betongkonstruksjoner. Dette bidraget er svært viktig for betonggulv når det ønskes minst mulig riss. Likevel vil det kunne oppstå riss i betongen, og

dermed må det iverksettes andre tiltak som kan forhindre rissdannelse i betong. Når betongen belastes vil rissene øke i antall og størrelse fram til et eventuelt brudd [1].



Figur 5: Omtrentlig volumfordeling av delmaterialene i betong [27].

Når betongen belastes for trykk, vil det i første omgang utvikles et mer finfordelt rissmønster uten at det dannes gjennomgående riss, og dermed oppnås en god fordeling av spenningen, slik at betongen kan få et lengre bruddforløp [1]. Rissene vil øke både i antall og størrelse fram til et eventuelt brudd. Derfor er det nødvendig at andre tiltak som kan forhindre rissdannelse i betong.

Riss vil kunne oppstå i sementlimet når betongen belastes fordi sementlimet og tilslaget har ulik stivhet, og dermed vil det oppstå spenningskonsentrasjoner i sementlimet [1]. I startfasen av dannelsen av riss, vil rissene dannes i heftsonen mellom tilslagskorn og sementlimet, på grunn av at det er et mer porøst område, og de kjemiske bindingene er svakere der i forhold til det resterende sementlimet.

For å forhindre riss i betonggulv er strekkfastheten viktigere enn trykkfastheten [8].

Strekkfastheten påvirkes imidlertid i stor grad av trykkfastheten ved at økning av trykkfastheten, gir høyere strekkfasthet. Dersom et gulv har fastholdning, vil det kunne oppstå riss i betongen uansett størrelse på strekkfastheten [8].

5.1.5 Duktilitet

For å oppnå et godt samvirke mellom betongen og armeringen er betongens duktilitet viktig [1]. Duktiliteten beskriver betongens evne til å deformere seg uten at den går til brudd [28]. Hvis sementlimet får fasthets- og stivhetsegenskaper lik tilslaget, vil duktiliteten til betongen reduseres. En mindre steinandel og mindre steinstørrelse i betongen vil også bidra til en

reduksjon av duktiliteten [1] Dette vil gi en mer sprø og plutselig bruddoppsørsel, som ikke er ønskelig i betonggulv som skal ha høy fasthet og være bestandig.

5.1.6 Gulvklasser

I prosjekteringen av betonggulv kan tabell for gulvklasser i henhold til NB15 [8] som inneholder fire forskjellige gulvklasser, benyttes for å få informasjon om hvordan sluttresultatet for et betonggulv vil kunne bli allerede tidlig i prosjekteringsstadiet. Prinsippet med gulvklasser er en ny definisjon, og første gang den er definert, er i NB15 [8]. Tabellen for gulvklassene er presentert nedenfor som Tabell 1. Hovedformålet med bruk av gulvklasser er å få informasjon om forventet rissvidder og svinn i et gulv, og dermed kunne prosjektere et gulv med løsninger som gir et sluttresultat lik det forventede resultatet. Den nevnte tabellen viser en del krav som må oppfylles for å oppnå de forskjellige gulvklassene. Det gjelder krav til begrensede rissvidder, svinnpotensiale, armeringsmengde, minimumstykkelser, bestandighetsklasse og herdeklasse. Tabell 1 inneholder $svinn_{REF}$, som kan forklares som maksimalt totalt svinn etter ett år. Det totale svinnet er summen av selvuttørkingssvinn som også kalles autogent svinn og uttørkingssvinn.

Tabell 1: Gulvklasser ved prosjektering og utførelse av flytende gulv [8].

Gulvklasse	I	II	III	IV ¹⁾
Rissvidde (mm)	$\leq 0,3$ ²⁾	$\leq 0,5$	$\leq 1,0$	-
Svinn _{REF} (%)	$\leq 0,55$	$\leq 0,55$	$\leq 0,75$	-
Armeringsmengde ³⁾	3 x A _{s,min}	2 x A _{s,min}	1 x A _{s,min}	-
Minimumstykkelser (mm) for enkelt/dobbeltarmert gulv	100 /150	100, 120 ⁴⁾ /150	100 /150	100
Bestandighetsklasse	M40/MF40	M40/MF40-M60	M40/MF40-M60	-
Herdeklasse	4	4	3	-

1) Kun krav til minimumstykkelse på 100 mm.

- 2) Estetisk krav, tilfredsstillende normalt også bestandighetskrav i henhold til NS-EN 1992-1-1 [14].
- 3) Armering i overkant. Ved punktlaster vil det i tillegg være behov for armering i underkant.
- 4) 120 mm gjelder M45/MF45 og M60 betong.

I denne rapporten vil ikke Tabell 1 etterfølges, men vil kun være veiledende for arbeidet med dimensjoneringsdelen og utførelsesdelen. Dette er fordi gulvklasser ikke var definert før NB 15 [8] ble utgitt. Denne ble som nevnt i 3.1 utgitt først etter oppstart av prosjektet som er omtalt i denne rapporten.

I tilfeller der betongoverflaten skal tilfredsstillende krav i henhold til gulvklassene i NB15 [8], kan ikke svinnet bli for stort, og da må bindemiddelsammensetningen i betongen være minst mulig [8].

5.1.7 Laster

Informasjon om hvilke laster og størrelser på lastene som gulvet skal dimensjoneres for, finnes i NS-EN 1991-1-1 [13]. Den inneholder blant annet informasjon om tyngdetettheter for aktuelle materialer og karakteristiske nyttelaster for bygninger [8]. Nyttelastene oppgis som regel som jevnt fordelte laster og punktlaster.

Riktige verdier for størrelser på lastene og utbredelsen av lastene må avklares med byggherren og leverandører [8].

Dersom det plasseres to punktlaster innenfor et begrenset området, vil det gi gulvet større belastning, og dermed må kapasiteten til gulvet økes.

Det er viktig å være oppmerksom på at lastvirkningen fra punktlaster kan endres, dersom flere punktlaster virker samtidig [8]. Når gulv som utsettes for punktlaster skal ha minst mulig riss, anbefales det at gulvet kontrolleres i forhold til tillatte spenninger i urisset betong, både i under- og overkant av punktlasten (se kapittel 4.2.2 i NB15 [8]) [8].

Når det gjelder den jevnt fordelte lasten, vil en jevnt fordelt last over hele gulvet gi én setning, mens en feltvis oppdeling av den jevnt fordelte lasten i tillegg vil gi momenter i gulvet [8]. I henhold til NB15 [8] skal dermed gulvet også dimensjoneres for feltvis oppdeling av den

jevnt fordelte lasten, fordi små punktlaster med små kontaktflater gir størst belastningen på gulvet. Etter samtale med veileder er det bestemt at det ikke nødvendigvis skal dimensjoneres for dette i denne rapporten. Dersom dimensjoneringen skulle vært helt i samsvar med NB 15 [8] i denne rapporten, skulle det vært dimensjonert for en feltvis oppdelt jevnt fordelt last.

Ifølge [11] skal de konsentrerte lastene fordeles nedover i betonggulvet for å unngå kontaktspenninger mot underlaget, slik at det underlaget skal ha tilstrekkelig kapasitet for å ta opp disse.

Det vil også virke horisontale krefter på gulvet som følge av at det vil bli belastet av kjøretøy som akselererer og bremses [8]. Størrelsen på disse kreftene bestemmes til å være lik den jevnt fordelte vertikale lasten multiplisert med en faktor lik 1,1 til 1,3.

Normalt benyttes faktorer mellom 1,2 og 1,4 for lastoverføring mellom hjul ved svinging for hjul, men for tilfeller der overflaten skal være stålglatt, er det en dynamisk faktor for ujevnheter ved fugene som vil være aktuell [8].

5.1.8 Bærelag

For golv som har krav til minst mulig riss i overflaten og toleransekrav til den ferdige overflaten, er det viktig å ha et godt bærelag som oppfyller spesifikke krav. Bærelaget skal komprimeres godt, avrettes nøyaktig og legges ut i et lag med en stor nok tykkelse [8].

Absolutte krav til bærelaget som underlag for konstruksjoner, er at det maksimalt kan ha en høydeteranse på +/- 20 mm, samt en jevnhet på +/- 10 mm målt med en 3 m lang rettholt [17]. Fordeler med et bærelag som er nøyaktig avrettet, er at utleggingen av eventuell isolasjon kan utføres mer effektivt, en vil kunne oppnå lik tykkelse på hele betonggulvet og redusere risikoen for at overdekning over overkantarmeringen blir for liten.

Ved å bygge opp bærelaget på riktig måte og komprimere det godt, vil det gi mindre forskjeller i setninger, og større planhet i gulvoverflaten kan oppnås [8]. Dette gjelder for de aller fleste gulvkonstruksjoner. Det er viktig å velge et velgradert bærelagsmateriale med riktig stivhet [11]. Eventuelt kan tykkelsen på tverrsnittet økes for å oppnå høyere stivhet. Stivheten til grunnen kan uttrykkes som en fjærstivhet med et stivhetstall, altså en k-verdi [8]. Ulike typer grunnforhold gir forskjellige verdier for grunnens stivhet, og typiske verdier for grunnens stivhet er vist i Tabell 2.

Tabell 2.: Typiske verdier for grunnens stivhet, k [8].

Grunnforhold	Grunnens stivhet, k (N/mm ³)
Jordbunn	0,01 – 0,02
Lett komprimert sand	0,015 – 0,15
Godt komprimert sand	0,10 – 0,15
Våt leire	0,03 – 0,06
Tørr leire	0,08 – 0,10
Knust stein med sand	0,10 – 0,15
Grov knust stein	0,20 – 0,25
Godt komprimert knust stein	0,20 – 0,30

Når bærelag under betonggulv skal etableres, skal først matjord, jordsmonn, større steiner og annet materiale som er lite egnet til å komprimeres fjernes fra byggeområdet [11]. Deretter skal grunnen komprimeres hvis den er egnet for å komprimeres, før det fylles på med komprimerbare masser [11]. Dersom det skal fylles opp med masser kan det være nødvendig å bygge opp bærelaget lagvis og komprimere godt for hvert lag. Det kan eventuelt legges ut fiberduk mellom grunnen og bærelaget, dersom grunnen består av jord som er siltholdig eller bløt [11]. I tilfeller der bærelaget består av ensgradert puk, kan det legges ut et toppsjikt av finere puk, for å hindre at finstoffet forsvinner ned i bærelaget. Bærelaget skal ha tilstrekkelig og lik bæreevne over hele området, og ved støping av gulvet skal bærelaget være frostfritt [11].

Dersom det benyttes isolasjon under betongen, vil denne ha stor innvirkning på stivheten, og dermed kan stivhetstallet til bærelaget bestemmes ut fra dette isolasjonslaget [8]. For tilfeller der isolasjonstykkelsen er stor, vil dette være alt for konservativt.

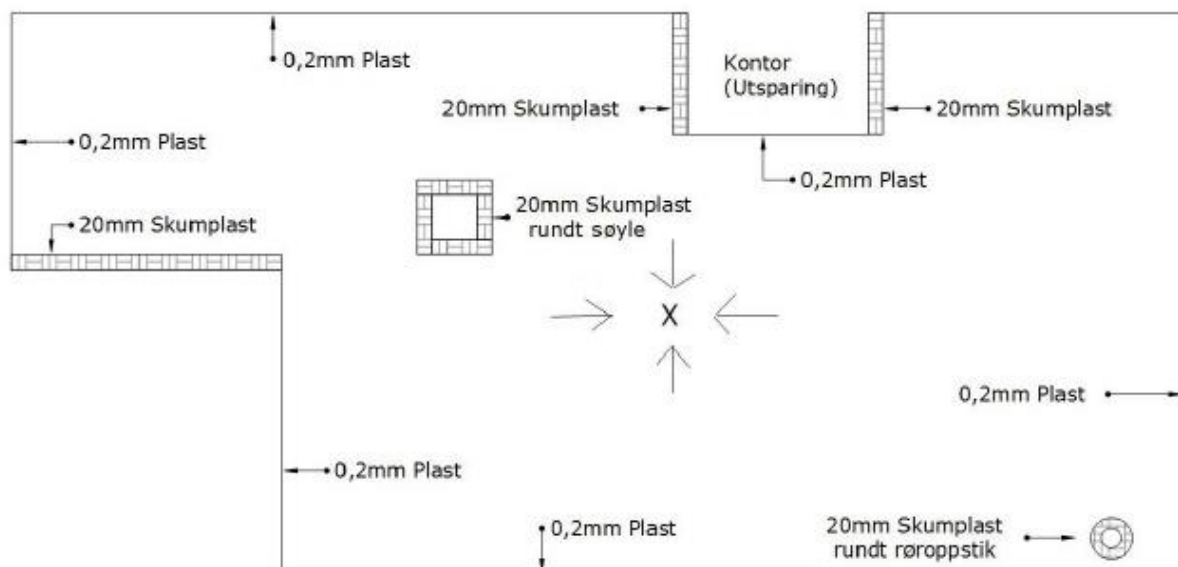
Til varmeisolasjon mot grunnen for industrigulv benyttes normalt ekspandert eller ekstrudert polystyren med densitet over 20 kg/m³ [25]. Platene av polystyren vil i tillegg til å isolere stoppe kapillært vann i å trenge opp i gulvet fra grunnen. Under isolasjonslaget legges et drenerende lag med 8-16 mm fin puk.

For uisolerte gulvkonsepter bør det legges et kapillærbrytende og drenerende lag med finpukk på 400 mm tykkelse [25].

Det er i hovedsak for punktlaster stivheten til underlaget er viktig [8]. Oftest vil det være stivheten til selve betonggulvet som har størst betydning for responsen, og derfor vil det ikke være problematisk ved en liten feil i grunnens stivhet [8]. Dersom stivheten i grunnen er liten, vil det kunne være nødvendig med en større tykkelse på betonggulvet.

5.1.9 Flytende gulv

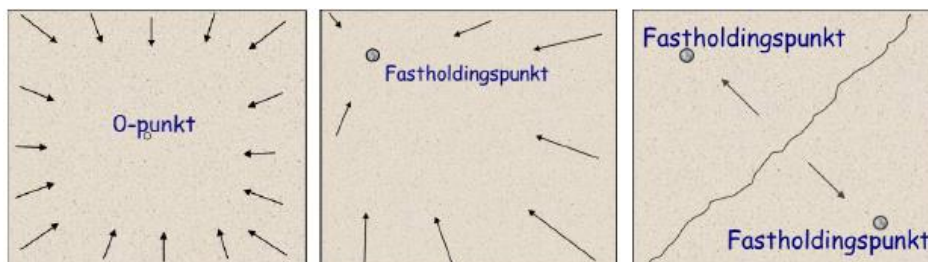
Ifølge NB15 [8] skal flytende gulv ha liten friksjon mot underlaget og frigjøres fra alle fastholdningspunkter. For å oppnå et godt sluttresultat på betonggulvet med minst mulig riss, må gulvet ha mulighet til å bevege seg fritt og ikke bli fastholdt ved bevegelser som skyldes svinn og temperatur. Eksempler på fastholdningspunkter er søyler, sluk, innvendige hjørner og utsparinger. Allerede ved prosjektering er det viktig å bestemme hvordan fastholdningspunktene skal frigjøres fra gulvet, for at gulvet skal få bevege seg fritt. Ved disse fastholdningspunktene kan dette gjøres ved bruk av minimum 20 mm skumplast, som er et isolasjonsmateriale som ikke komprimeres under støp, men som kan fjernes ved etablering av fuge ved fastholdningspunktene, se Figur 6. Alternative løsninger ved fastholdningspunkter er å støpe disse fast i det flytende gulvet og frigjøres fra undergulvet, eller feste disse til undergulvet og frigjøres fra det flytende gulvet [8].



Figur 6: Skisse som viser hvordan flytende gulv kan frigjøres fra fastholdningspunkter [8].

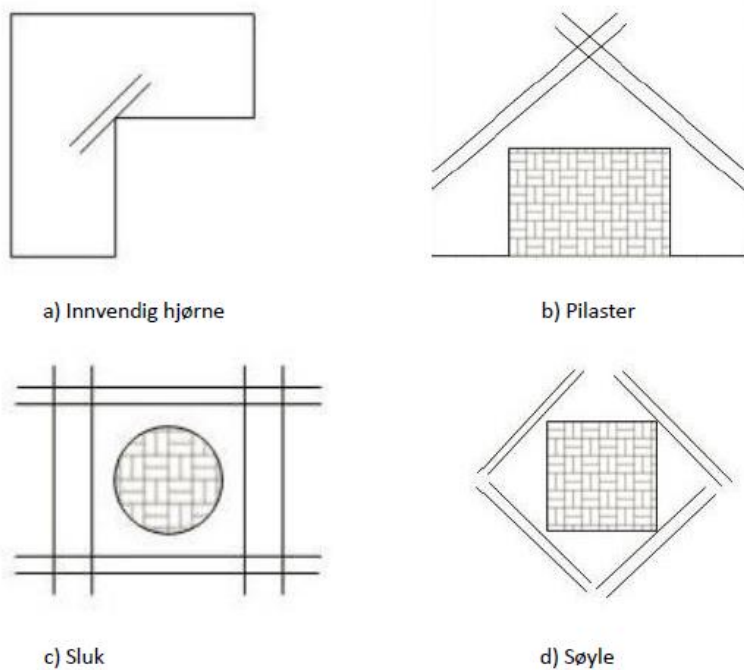
Flytende gulv uten fastholdningspunkter vil trekke seg mot midten av gulvet. Dersom det er ett fastholdningspunkt vil betongen trekke seg mot fastholdningspunktet [8]. I et gulv med to fastholdningspunkter vil det mellom fastholdningspunktene dannes sprekker i betongen.

Figur 7 viser eksempel på flytende gulv uten fastholdningspunkt, med ett fastholdningspunkt og med to fastholdningspunkter [8].



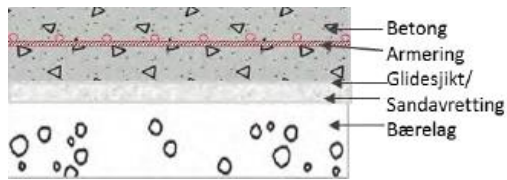
Figur 7: Eksempel på flytende gulv uten fastholdningspunkt, med ett fastholdningspunkt og to fastholdningspunkter [8].

I alle flytende gulv anbefales det å armere ekstra i områder der det er fare for riss, slik det er vist i Figur 8. Ved slike detaljer er normal armeringsmengde 2-4 stk. Ø12-16 c/c 100 mm, men ved strenge risskrav kan større armeringsmengde benyttes [8].

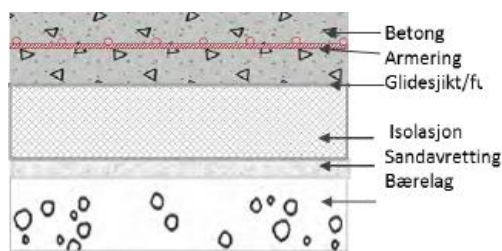


Figur 8: Anbefalte armeringsløsninger ved detaljer i gulvet [8].

Det finnes flere alternative løsninger for oppbygging av flytende betonggulv. I Figur 9 og Figur 10 er oppbygging av flytende betonggulv vist, henholdsvis uten isolasjon og med isolasjon under betongtverrsnittet. Normal plassering av glidesjikt er normalt like under betongtverrsnittet, men kan også plasseres mellom to lag isolasjon.



Figur 9: Tverrsnitt av flytende betonggulv med glidesjikt, bærelag og sandavretting [8].



Figur 10: Tverrsnitt av flytende betonggulv med glidesjikt, isolasjon, sandavretting og bærelag [8 [1]].

5.1.10 Fastholdte gulv

Fastholdte gulv er det motsatte av flytende gulv, og har ikke mulighet til å bevege seg fritt på grunn av at deler av gulvet er fast i et eller flere punkter [8]. I slike gulv er det helt normalt at det oppstår riss, og der er det armeringsmengden som oftest avgjør størrelsen på rissviddene. For å få minst mulig synlige riss i fastholdte gulv, anbefales det at armeringen av kamstål i enkeltarmerte betongtverrsnitt, plasseres i øverste del av tverrsnittet. Dersom det skal opptre punktlaste på gulvet, må det vurderes å ha armering i underkant av tverrsnittet [8].

Fastholdte gulv kan også armeres med fiberarmering, men for å oppnå rissfordelende effekt med kun bruk av fiber, må det tilsettes store mengder stålfiber [8]. Det vil kunne gi utfordringer i forhold til pumpbarheten og støpbarheten. Normalt fiberarmeres gulv med en fibermengde lik $25\text{-}35\text{ kg/m}^3$, men for fastholdte gulv kan det være behov for $60\text{-}80\text{ kg/m}^3$.

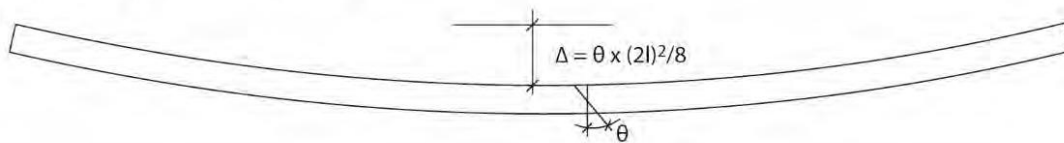
5.1.11 Kantreising

Kantreising forekommer ofte i flytende gulv [2]. Dette er spesielt vanlig for gulv med tynne tverrsnitt, men kan også forekomme i gulv som har tykkelse opp mot 200 mm. Kantreising vil

dannes raskere i tynne gulv, på grunn av at tverrsnittet i tynne gulv vil ha tørket ut mer etter en bestemt tid, i forhold til et tykkere gulv. Det er også som følge av at motstandsmomentet er mindre for tynne gulv.

Når det oppstår kantroising av gulv, vil gulvet få en oppbøyning med en konstant krumning, som vist i Figur 11 [8]. Denne figuren inneholder i tillegg formler for beregning av oppbøyningen til gulvet og nedbøyningen på grunn av gulvets egenvekt og tilhørende moment. kan beregnes etter formler i den samme figuren.

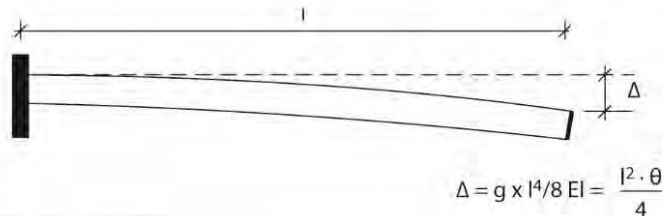
Oppbøyning fra konstant krumning:



Nedbøyning fra egenvekt:

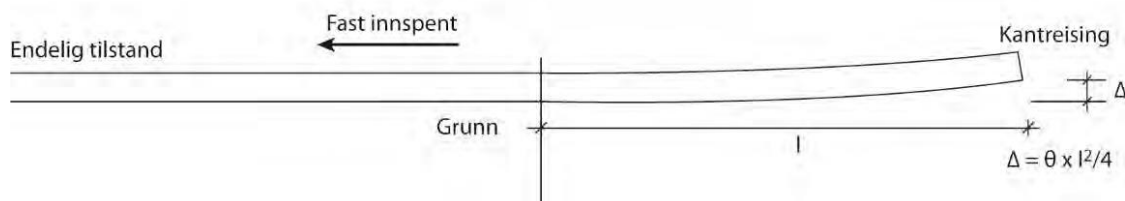
$$M_{\max} = g \times l^2 / 2$$

$$\theta = M_{\max} / EI$$



$$\Delta = g \times l^4 / 8 EI = \frac{l^2 \cdot \theta}{4}$$

Setter: $\theta_{\text{svinn}} = \theta_{\text{egenvekt}}$



Figur 11: Beregning av kantroising og lengden delen av gulvet som løftes opp ved en bestemt svinn-krumningstilstand [8].

For å finne lengden av gulvet som løfter seg fra underlaget, må krumningen som skyldes momentet fra egenvekten til delen av gulvet som løfter seg, settes lik krumningen som skyldes svinn [8].

Hvis svinnforløpet i betongen er kjent, kan kantroising og utkragerlengden som er den delen av gulvet som løfter seg, beregnes etter en gitt tid [8]. Kantroisingen vil etter en tid kunne gå nesten helt tilbake igjen, og dersom den oppbøyde delen av gulvet belastes, kan denne delen av gulvet lett knekke [8].

Momentet i gulvplaten vil være konstant fra der hvor gulvet ligger mot underlaget og fastholdes mot krumning, og innover mot midten av gulvet [8]. Det vil da kunne dannes bøyningssriss dersom det er en viss størrelse på svinnet. På grunn av at de betongtypene som er vanlig å benytte i dag kan gi betydelig svinn, må det forventes at det kan dannes slike bøyningssriss i betonggulv [8]. Dette fordi uttørking av betongen kun kan forekomme på oversiden av gulvet.

For å unngå bøyningssriss kan det iverksettes gode herdetiltak som vil forsinke uttørkingen og gi betongen større fasthet [8]. Overkantarmeringen i gulv bidrar til å begrense slike riss.

5.1.12 Fuger

Fuger benyttes i betonggulv i hovedsak for å forhindre riss [8]. Gulvet deles inn i felt med fuger der størrelsene på feltene kan variere. «En fuge defineres som et gjennomgående brudd i gulvflaten eller som en avstand til andre konstruksjonsdeler, for eksempel søyler og vegger», ifølge [8]. Det er ofte ønskelig med færrest mulig fuger.

Det finnes flere forskjellige typer fugeløsninger, der hver av disse har ulike funksjoner. Fuger deles kan deles inn i to gruppene; bevegelsesfuger og konstruksjonsfuger [8].

Konstruksjonsfuger benyttes for å ta opp bevegelser som skyldes temperatur og svinn, for å forhindre større bevegelser i konstruksjonen. Dette er gjennomgående fuger som går gjennom hele konstruksjonen [8].

Bevegelsesfuger er alle andre typer fuger som også skal ta opp svinn- og temperaturbevegelser, men disse fugene skal kun ta opp de lokale bevegelsene [8]. Noen typer bevegelsesfuger er dilatasjons-, dags-, etappe-, rand-, seksjonerings- eller støpeavsnittsfuger. Fuger i denne gruppen utføres normalt uten gjennomgående armering, men kan utføres med dybler.

Behovet for fuger i gulv kan være avhengig av mange forhold, som for eksempel type gulv, størrelse på gulvet, geometri, randbetingelser, betongens svinnpotensiale og underlag [8]. For gulv med fuger skal det være minst mulig friksjon mot underlaget, derfor anbefales det å ha to lag PE-plast under betongen for å oppnå en friksjonskoeffisient (μ) mellom betongen og underlaget på 0,5 [8].

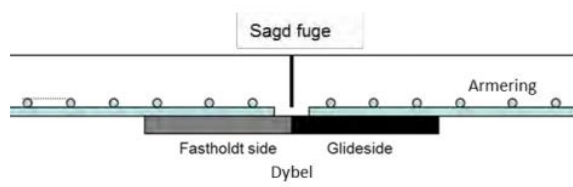
Gulv med fugeløsninger er svakere i forhold til gulv uten fuger [8]. Dette gjelder spesielt for gulv som belastes med store punktlaster. Det skyldes at det ved bruk av fuger vil være en

større andel kant- og hjørneområder på gulvet, som er de områdene på gulvet med lavest kapasitet. For å unngå dette problemet med flere svakhetsområder, er det ved støping av gulv blitt mer vanlig å ha større avstand mellom gjennomgående bevegelsesfuger [8]. I gulv med liten tykkelse bør fuger unngås, fordi disse får økt kantreising og vil dermed lett knekkes ned ved hjørne- og kantområdene. Ved planlegging av plasseringen av fuger i gulv bør disse plasseres utenfor områder med punktlaster, og med 600 mm i minimumsavstand fra punktlaster [7].

En må være oppmerksom på at selv om det etableres fuger i et gulv, vil det uansett kunne oppstå riss andre steder på gulvet [8]. Dette gjelder spesielt for gulv med tradisjonelle rissanvisere, som er et sagt spor i betongen med gjennomgående armering. Disse sporene sages opp etter at betongen har oppnådd noe fasthet. Hensikten med tradisjonelle rissanvisere er å forhindre frie riss på overflaten. For å oppnå dette må det kunne oppstå flytning i armeringen ved rissanvisere. Armeringsmengden må da være forholdsvis liten [7]. Dersom den ikke fungerer slik, vil det kunne dannes flere riss på resten av gulvet, og det vil da være unødvendig med rissanvisere.

Rissanvisere anbefales sjeldnere å benyttes, som følge av at det er høy risiko for at det vil oppstå riss utenfor rissanviserne (se forrige avsnitt), og ikke minst på grunn av at fuger generelt bidrar til et svakere gulv.

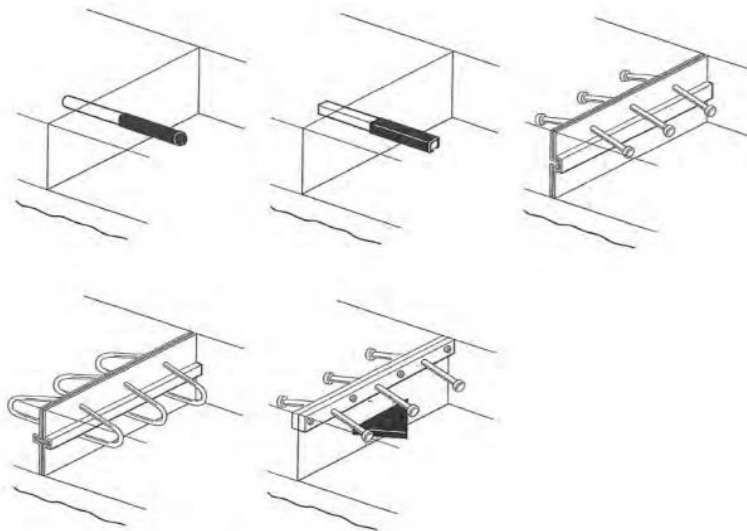
Sagd fuge er vanlig å benytte dersom det er behov for oppdeling av støpeetapper i mindre felt [8]. Disse skal ikke ha gjennomgående armering og det sagde sporet skal ha en dybde på minimum én tredjedel av tykkelsen til betonggulvet, se Figur 12. Etter saging skal disse rengjøres med for eksempel spyling. Det er betongens svinn og bredden på åpningen i fugen som er avgjørende for feltstørrelsen ved bruk av sagt fuge.



Figur 12: Sagd fuge med dybler og ikke gjennomgående armering [8].

Dilatasjonsfuger er fuger som gir gulvet mulighet for utvidelse- og krympebevegelser [11]. Forskjellen på denne fugetypen og kontraksjonsfuger er at det legges inn et kompressibelt mellomlegg i dilatasjonsfuger, og i tillegg har dyblene ekspansjonskopp. Ved store belastninger kan det støpes inn vinkelstål i gulvkantene mot fugen.

Det finnes flere typer fugeprofiler i forskjellige materialer. Se Figur 13 for noen eksempler på fugeprofiler. Det vanligste materialet er stål, men profiler i aluminium og plast finnes også [8]. Valg av fugeprofil må vurderes spesielt for hvert gulv. Hvis for eksempel gulvet skal slipes, må det velges fugeprofil som kan slipes. Aluminium kan være aktuelt for et slikt tilfelle, men det er da viktig å sikre heften mellom fugeprofilen og betongen på grunn av gassutvikling. Det er generelt viktig å undersøke og sikre heft før et bestemt materiale velges. For å sikre god heft til fugeprofil i aluminium, må dette være dekket til med et tett belegg som for eksempel epoxy [8].

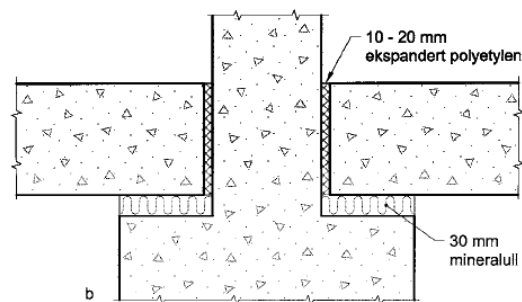


Figur 13: Eksempler på fugeprofiler [8].

Størrelsen på gulvfelt uten fuger bestemmes i hovedsak av støpekapasiteten pr. dag, krav til fugeåpninger og sammensetningen til betongen [8]. Selv om det ikke er ønskelig med riss i disse gulvene vil de aldri kunne bli helt rissfrie, men riss mindre enn 0,5 mm har liten betydning for verken det estetiske eller bruken av gulvet [8]. På grunn av krav til bevegelser i fuger, kan det allikevel være nødvendig å dele opp gulvet i mindre deler. Dette gjelder spesielt for gulv utendørs, der det må tas hensyn til temperaturbevegelser i tillegg til svinnbevegelser [8].

Når gulv skal deles inn i felt, anbefales det å velge kvadratiske felt [8]. «En generell anbefaling er at lengden til feltet ikke bør overstige to ganger bredden», ifølge [8]. Dette fordi det er fare for oppsprekking i tverretningen ved bruk av lange felt. Dette har mindre betydning ved større feltstørrelser. Det er viktig å ta søyler og vegger med i vurderingen for bestemmelse av geometri og størrelse til feltene.

Ved søyler, fundamenter, pilastere, sluk, renner osv. skal det etableres fuger for å sikre fri bevegelse av gulvet i både horisontal og vertikal retning [8]. I disse fugene ved fastholdningspunktene anbefales det å benytte 20 mm fast isolasjon (skumplast), som nevnt i 5.1.9. Det skal også etableres fuge mellom gulv og vegg. Denne kan utføres enten ved å legge fuktsperra opp langs veggen til over gulvoverflaten, legge 10-20 mm ekspandert polystyren eller legge et lag asfaltapp mot veggen, se Figur 14: Prinsipp for isolasjon mellom betonggulv og fundament [11] for detaljer [11]. Ved fundamenter er det viktig å unngå fastholdning av gulv mot fundament [11]. Det vil være mest aktuelt for fundamenter som er plassert på et nivå like under avrettingsmassen. Dette kan forhindres ved å legge inn 30 mm ekspandert polystyren under gulvet mot overkanten av fundament og 10-20 mm ekspandert polystyren mot fundament i gulvhøyden, se Figur 14.



Figur 14: Prinsipp for isolasjon mellom betonggulv og fundament [11]

5.1.12.1 Dybler

Dybler i fuger benyttes for å forhindre høydeforskjell mellom gulvplatene på hver side av en fuge, på grunn av kanteising og for å avlaste hjørner og kanter [8]. Dyblene vil sørge for at disse gulvfeltene vil få lik bevegelse i vertikalretningen, og dermed oppnås en jevn fuge som vil være bedre å kjøre over med kjøretøy og betongkanten vil få mindre slitasje og skader. Dyblene bidrar også til lastoverføring fra gulvplaten på den ene siden av fugen til gulvplaten på andre siden [7]. Det oppnås dermed en kapasitetsøkning ved platekant.

For å sikre fri bevegelse av gulvet, må dyblene som skal benyttes monteres vinkelrett på fugen, parallelt med gulvoverflaten og påføres et heft hindrende middel på halve lengden av dybelen [8].

Dersom det vil kunne oppstå horisontale bevegelser av betongplatene parallelt med fugen, skal det benyttes dybler med hylser som gir mulighet for fri horisontal bevegelse [8]. I slike

tilfeller skal dyblene ha rektangulært tverrsnitt, men skal ha likt tverrsnittsareal som dybler med sirkulær form.

Det finnes mange ulike dybelløsninger. Et par eksempler er enkeltdybler og dybelsystemer med stålplater på hver side av fugen. Det er forskjeller i kapasitet på de forskjellige dybelløsningene. Den sistnevnte dybelløsningen som har påmonterte stålplater har mye høyere kapasitet enn enkeltdybler [8]. Det er også av betydning for kapasiteten at dybler med stålplater har kortere kantavstand. For industrigulv som skal belastes med tunge laster som skal flyttes over fugene, er det dybelløsninger med stålplater som er mest aktuelt å benytte [8].

For å finne kapasiteten til en fugeløsning, skal det i utgangspunktet henvises til den leverandøren som leverer den aktuelle fugeløsningen [8].

En dybel kan ifølge NB15 [8] i hovedsak virke på følgende tre måter:

- På bøyning ved at det dannes flyteledd et lite stykke inne i betongen på hver side av fugen,
- på avskjæring hvis det er skjærkapasiteten til selve dybelen i fugen som begrenser kapasiteten, og
- på strekk hvis dybelen får en vinkelendring av betydning over fugen.

Det som er avgjørende for kapasiteten til en enkeltdybel er i hovedsak momentkapasiteten, mens for dybelløsning med stålplater er det skjærkapasiteten dersom det ikke er en stor fugeåpning [8].

Generelt gjelder det at hver dybel skal ta belastning fra minst halvparten av lasten fra hvert hjul fra et kjøretøy som gir punktlast på underlaget [8].

Avskjæringskapasitet for en dybel kan generelt uttrykkes slik:

$$F_{vd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot f_y \cdot A_s$$

Der:

f_y er stålets flytespenning

A_s er dybelens tverrsnittsareal

Eksempel på beregning av avskjæringskapasitet, F_{vd} :

Flytespenning til stålet i dybelen: $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$

Tverrsnittsareal til dybelen: $A_s = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 8^2 = 201 \text{ mm}^2$

Beregning av avskjæringskapasiteten:

$$F_{vd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot f_y \cdot A_s$$

$$F_{vd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 275 \cdot 201 = 31.913 \text{ N} \approx 31,9 \text{ kN}$$

5.2 Tradisjonelt slakkarmert gulv

Gulv med tradisjonell slakkarmering er den vanligste typen betonggulv. Slakkarmering er kamstål med kammer på overflaten og er vanligvis varmvalset [29]. Kvaliteten er normalt B500 C. Armeringen begrenser riss og svinn i betongen i tillegg til å ta opp strekk-, trykk- og skjærkrefter. Ved bruk av betong med slakkarmering benyttes som oftest nettarmering med diameter fra 6-8 mm eller armeringsstenger med diameter fra 8-12 mm [8]. Eksempler på nettarmeringer er K131, K189, K257 og K402. De tre førstnevnte har senteravstand mellom stengene lik 150 mm, mens K402 har senteravstand lik 125 mm. Armeringsnettene benevnes med K som betyr at det er kammer på stengene, og et tall som er tverrsnittsarealet til armeringsstengene i mm^2 pr. meter bredde. For de nevnte armeringsnettene er stangdiameteren henholdsvis 5, 6, 7 og 8 mm.

I slakkarmerte gulv benyttes ofte armering som velges med bakgrunn i kravet til minimumsarmering for frittstående dekker, beskrevet i punkt 9.3 i NS-EN 1992-1-1 [14]. En del gulv har krav til minst mulig riss, og da vil det kunne være behov for større armeringsmengder [8].

Kravet til minste armeringsmengde, $A_{s,min}$ kan beregnes ved å benytte formelen for $A_{s,min}$ i henhold til NS-EN 1992-1-1 [14] punkt 9.2.1.1:

$$A_{s,min} \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d$$

Der:

b_t er den midlere bredden av strekksonen.

- f_{ctm} er middelverdien av betongens aksialtrekkfasthet og bestemmes i forhold til den aktuelle fasthetsklassen i tabell 3.1 i NS-EN 1992-1-1 [14].
- f_{yk} er armeringens karakteristiske flytegrense
- d er den effektive høyden av tverrsnittet, men for gulv erstattes den med tykkelsen til gulvet [14]. Generelt er effektiv høyde til tverrsnittet avstanden fra strekkarmeringens tyngdepunktsakse til trykkrand.

Overkantarmeringen bør plasseres høyt i gulvet for å oppnå god rissfordeling [8]. Kravet til overdekning er at den skal være minst like stor som stangdiameteren, og ikke mindre enn 10 mm. For å kunne ta hensyn til miljøpåkjenninger, er det som ofte nødvendig med større overdekning.

Betonggulv som skal ha minst mulig fuger og riss, skal i hovedsak prosjekteres i bruksgrensetilstanden, dersom NB15 [8] benyttes som grunnlag i prosjekteringen. Dersom et gulv også har et lasttilfelle med punktlaster, skal det prosjekteres for disse også. Ved dimensjonering av gulv for punktlaster benyttes bruddgrensetilstanden til dette [8]. Årsaken til at punktlaster ikke skal utelates fra prosjekteringen, er fordi de kan påvirke både moment- og skjærkapasiteten til gulvet, og kan føre til alvorlige skader på gulvet.

Gulvets skjærkapasitet skal kontrolleres i bruddgrensetilstanden i henhold til NS-EN 1992-1-1 [14]. Når det gjelder påvirkningen på skjær, vil punktlaster kunne føre til at det oppstår fordypninger i gulvet. Punktlasterenes betydning for moment har mindre alvorlighetsgrad, fordi det bare vil kunne oppstå noen ujevnheter og dannes noen riss rundt lastflaten i overkant av gulvet [8].

Til dimensjonering av gulv i bruksgrensetilstanden, kan både lineære og ikke-lineære elementprogrammer benyttes. For dette tilfellet benyttes forenklete formler og uttrykk som var vanlig før elementmetoden ble vanlig.

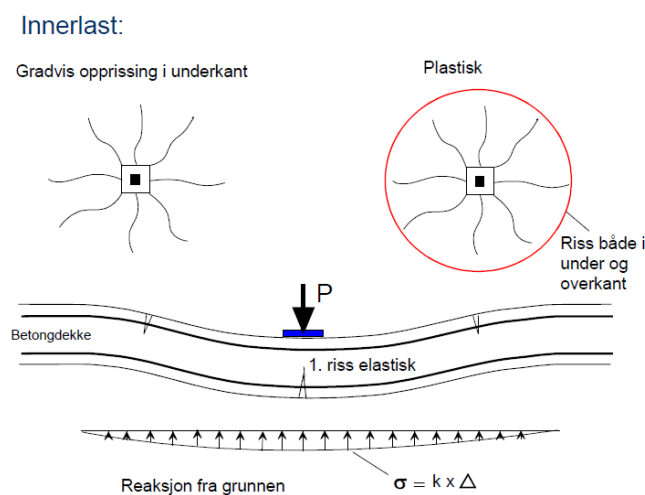
5.2.1 Bruddgrensetilstanden

Bakgrunnen for at det kun er dimensjonering i bruddgrensetilstanden som omtales i denne rapporten, er fordi det antas at punktlaster uansett vil være dimensjonerende for gulvet som omtales i denne rapporten, og fordi NB15 [8] ikke skal følges fullstendig, se 3.1 for forklaring.

5.2.1.1 Punktlaster

Kapasiteten for gulv med punktlaster kontrolleres ved å benytte bruddlinjeteori. Konstruksjonen vil da kontrolleres i plastisk tilstand som ikke tar hensyn til deformasjoner og riss [8]. For tilfeller der det er bestemt at gulvet skal dimensjoneres først og fremst for punktlaster i bruddgrensetilstanden, vil dette være den viktigste kapasitetskontrollen. Generelt anbefales denne metoden først og fremst der riss ikke vil ha stor betydning for sluttresultatet. Det er allikevel nødvendig å ha en viss kontroll på rissene, for å hindre store riss som kan bidra til å bryte ned betongen. Dette ivaretas delvis ved at det legges til last- og materialfaktorer ved denne typen dimensjonering [8]. Ved dimensjonering av en gulvkonstruksjon vil det imidlertid være gunstig å gjennomføre en kapasitetskontroll i elastisk tilstand, for å sikre at det ikke dannes altfor store riss i konstruksjonen [30]. Spesielt siden det ikke er ønskelig med riss i betonggulvet. Ved bruk av lineærelastisk analyse antas det at konstruksjonens tverrsnitt er uopprisset [10]. I Figur 15 er det vist hvordan et gulv vil kunne deformeres og risse opp ved belastning av punktlaster [26].

Punktlaster



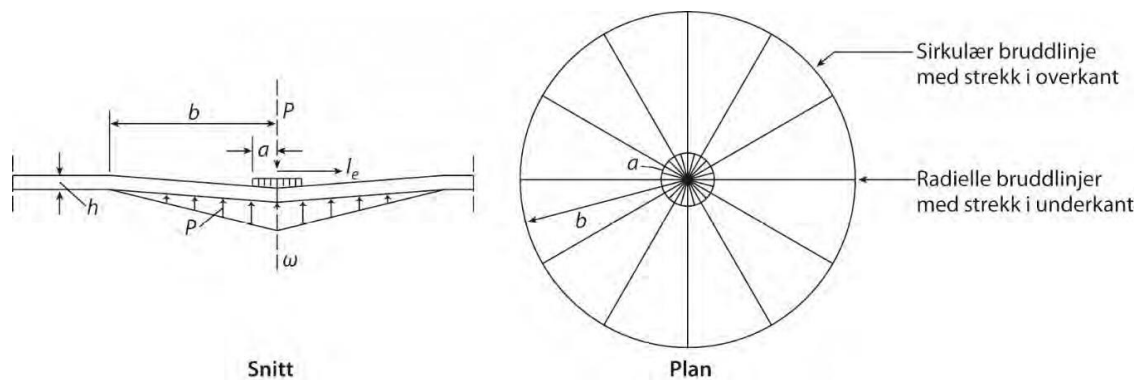
Figur 15: Prinsipp for opprissing og deformasjon av betonggulv forårsaket av punktlast [26].

Det finnes ulike formler for å kontrollere kapasiteten til gulv for ulike lasttilfeller i plastisk tilstand. Mange av disse formlene er kompliserte og vil nødvendigvis ikke gi korrekte svar på grunn av feil i forutsetninger og antakelser for det aktuelle tilfellet [8]. Likevel benyttes formlene for å finne en omtrentlig kapasitet som er i nærheten av den virkelige kapasiteten, da det er gjennomført forsøk der det er bevist at kapasiteten er tilstrekkelig ved bruk av disse

formlene. Det er uklart hvorfor disse fortsatt benyttes, men for så vidt er det også uklart hva som er vilkåret for kapasitet. I følge NB15 [8] er kriteriet for kapasitet for den aktuelle tilstanden ikke tydelig definert, men det er i hvert fall sikkert at armeringen vil flyte på den ene siden.

Momentkapasitet

Momentkapasiteten beregnes etter bruddlinjeteori i henhold til justerte utledninger av Meyerhof (referert i NB 15 [8]) som er benyttet i «Delprosjekt 3 Betonggulv, Dimensjoneringskriterier for fiberarmert gulv» som er utgitt av Norcem FoU i 2002 [8]. Elastisitetsteori og et antatt deformasjonsforløp under lasten er lagt til grunn for disse utledningene. Figur 16 viser en antatt deformasjon under punktlasten med bruddlinjemønster [8].



Figur 16: Deformasjonen og bruddlinjemønsteret for en punktlast inne på gulvet [8].

Meyerhofs formler for enkeltlasten (referert i NB 15 [8]):

- Punktlaster inne på gulvet:

$$P = 6 \cdot \left(1 + \frac{2a}{l_e}\right) \cdot (M_p + M_n)$$

- Punktlast ved kant:

$$P = 3,5 \cdot \left(1 + \frac{3a}{l_e}\right) \cdot (M_p + M_n)$$

- Punktlast i et hjørne:

$$P = 2 \cdot \left(1 + \frac{4a}{l_e}\right) \cdot M_n$$

Der:

P = Opptredende last

a = radius til den ekvivalente sirkulære lastflaten (mm)

l_e = «Elastisk lengde» til gulvet

M_p og M_n er positivt og negativt plastisk moment for armeringen i gulvet [8]. Det negative momentet settes som oftest lik gulvets rissmoment for gulv på grunn.

Forutsetninger for formel for kantlast er $M_p = M_n$ både langs kanten og på tvers av kanten [8].

Den plastiske momentkapasiteten bestemmes som $M = f_{sd} \cdot A_s \cdot z$ (kNm/m) der f_{sd} er armeringens dimensjonerende flytespenning, A_s er armeringsarealet pr. meter bredde og z er den indre momentarmen.

«Elastisk lengde» for gulvet, l_e defineres i NB 15 [8] som:

$$l_e = \sqrt[4]{\frac{D}{k}}$$

Der:

l_e = «Elastisk lengde» som er et forhold mellom stivheten til betongplaten og grunnen, og er en del av uttrykkene for spenninger og momentvirkning i betongplaten fra punktlaster [8].

D = Gulvets elastiske stivhet

k = Grunnens stivhet

Gulvets elastiske stivhet defineres i NB 15 [8] som:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}$$

Der:

- $E =$ Betongens elastisitetsmodul (N/mm^2), for punktlaster gjelder korttids E-modul.
 $h =$ Høyden til betongtverrsnittet
 $v =$ tverrkontraksjon, vanligvis 0,2 for betong [8].

Avhengig av lastflaten bestemmes a til:

$$\begin{aligned}
 a &= \sqrt{1,6 \cdot r^2 + t^2} - 0,675 \cdot t & \text{for} & \quad r < 1,724 \cdot t \\
 a &= r & \text{for} & \quad r \geq 1,724 \cdot t
 \end{aligned}$$

Der:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Der:

- $A =$ Arealet til lastflaten.
 $t =$ tykkelsen til betonggulvet

For å finne momentet for gulvkonstruksjonen, skal det benyttes omgjorte formler for enkeltlast utarbeidet av Meyerhof (referert i NB 15 [8]) ifølge Kanstad [30]. De omgjorte formlene for å finne det positive momentet, M_p er:

Moment for lastplassering inne på gulvet:

$$M_p = \frac{P}{\left(6 + \frac{12a}{l_e}\right)} - M_n$$

Moment for lastplassering ved kant:

$$M_p = \frac{P}{\left(3,5 + \frac{10,5a}{l_e}\right)} - M_n$$

Moment for lastplassering ved hjørne:

$$M_p = \frac{P}{\left(2 + \frac{8a}{l_e}\right)}$$

Som nevnt i første avsnitt i Punktlaster bør det ved dimensjonering i plastisk tilstand (bruddgrensetilstand) også utføres beregninger i elastisk tilstand for å kunne sammenligne og vurdere resultatene av beregningene i bruddgrensetilstand og i bruksgrensetilstanden i forhold til hverandre.

Skjærkapasitet

Skjærkapasiteten skal beregnes som nevnt tidligere i bruddgrensetilstanden i henhold til NS-EN 1992-1-1 [14]. Det må kontrolleres for både strekk- og trykkbrudd. Ved kontroll av skjærkapasiteten for en plate, kontrolleres kapasiteten mot gjennomlokning. På grunn av grunntrykk fra grunnen, kan det for strekkbrudd legges inn en liten reduksjon. Men denne virkningen av grunntrykket utgjør bare noen få prosent (5-10 %), og det unnlates derfor å ta dette med i beregningen for strekkbrudd [8].

Skjærkraftkapasiteten skal i henhold til NS-EN 1992-1-1 [14] punkt 6.4.1(4) kontrolleres ved kant av lastflaten og ved det kritiske kontrollsnittet, u_1 som har en avstand $2d$ fra lastflaten. For belastede flater i nærheten av kant eller hjørne, kan kontrollsnittet, u_1 være kortere enn et kontrollsnitt ved en lastflate inne på gulfplaten. Det kan da være nødvendig å gjennomføre egne beregninger for kontroll av skjærkraftkapasiteten ved kant og hjørne.

For tilfeller der det er oppgitt at punktlastene skal plasseres minimum 600 mm fra kant av gulvet som er aktuelt i denne rapporten, vil det kun være behov for å gjennomføre beregninger med formler for innersøyle. Dette på grunn av at denne avstanden er større enn $2d$ for t så stor at det ikke er behov for å kontrollere for kant- og hjørnelast ifølge NS-EN 1992-1-1 [14].

Det skal gjennomføres kontroll for skjærkapasitet ved punktlaster i henhold til NS-EN 1992-1-1 [14]. Det kontrolleres kun for punktlaster inne på gulvet i denne rapporten, se 3.1 for begrunnelse:

Kontroll for om skjærkapasiteten er tilfredsstillende uten skjærarmering:

$$V_{ED} \leq V_{Rd,c}$$

Største skjærspenning i kontrollsnitt u_1 , $2d$ fra kanten av den belastede flaten:

$$v_{ED} = \frac{V_{ED}}{u_1 \cdot d}$$

Der lengden av kritisk kontrollsnitt, u_1 for en rektangulært belastet flate er:

$$u_1 = 2 \cdot c_1 + 2 \cdot c_2 + 4 \cdot \pi \cdot d$$

Skjærkraftkapasitet (skjærspenning pr. flateenhet på snittflaten):

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \geq v_{min}$$

der:

$$C_{Rd,c} = \frac{k_2}{\gamma_C}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

$$\rho_L = (\rho_{L,x} \cdot \rho_{L,y})^{\frac{1}{2}}$$

$$\rho_{L,x} = \frac{A_s}{b \cdot d} \leq 0,02$$

$$\rho_{L,y} = \frac{A_s}{b \cdot d} \leq 0,02$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}$$

Skjærspenning ved kanten av lastflaten begrenses ved konsentrert last til:

$$u_0 = (2 \cdot c + 2 \cdot c)$$

$$v_{Ed} = \frac{V_{ED}}{u_0 \cdot d}$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot b_t \cdot d \cdot v \cdot f_{cd} < 1,6 \cdot v_{Rd,c} \cdot \frac{u_1}{\beta \cdot u_0}$$

Der:

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

$$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{1,5}$$

For å forhindre at riss oppstår, er det veldig viktig at betongen har god strekkfasthet. Dette forutsetter at betonggulvet kan flyte fritt uten å bli fastholdt. Dersom gulvet fastholdes vil det fortsatt kunne oppstå riss, selv om gulvet har veldig høy strekkfasthet [8]. Høy strekkfasthet er spesielt viktig i gulv som blant annet skal tåle stor slitasje og skal belastes av trucker og jekketraller [8].

5.2.2 Gulvtykkelse

Gulvtykkelsen bestemmes i hovedsak med bakgrunn i dimensjoneringsprinsipper, krav til overdekning på armeringen, risikoen for opprissing og risikoen for kantroising [8].

Betonggulv kan utføres med enkelt eller dobbelt armeringslag. For enkeltarmerte tverrsnitt i gulv på grunn er kravet til minimum tykkelse i henhold til Tabell 1 generelt 100 mm, men for gulv i gulvklasse II etter NB15 [8], er kravet 120 mm dersom det benyttes M45/MF45 og M60 betong. For dobbeltarmerte tverrsnitt er minstekravet 150 mm, og da må det iverksettes ekstra tiltak for å få plass til armeringen [8].

Gulvtykkelsen for betonggulv på grunn bestemmes i hovedsak med bakgrunn i risikoen for gjennomlokking på grunn av skjærtrykkbrudd [31]. Det er fordi det ikke kan armeres for gjennomlokking når punktlastene kan opptre på hele gulvflaten. For konstruksjoner som armeres for å forhindre gjennomlokking, monteres skjærarmoring ved punktlastene som skal ta opp skjærkreftene i konstruksjonen. For gulv på grunn er det ikke normalt å legge inn ekstra bøylearmering i gulvkonstruksjonen ved punktlaster. Det kan eventuelt legges inn for punktlaster med en bestemt plassering på gulvet.

5.3 Fiberarmerte gulv

5.3.1 Generelt om fiberarmerte gulv

Fiberarmerte gulv er gulv som armeres med fiber [8]. Vanligvis benyttes makrofibrer i stål, men det finnes også mikro- og makrofibrer i plastmaterialet polypropelen. Mikrofibrene er kortere enn makrofibrene, og benyttes ofte i sparkel- og avrettingsmasser [8]. Disse fibrene kan bidra til at betongen får høyere og jevnere strekkfasthet, men har liten innvirkning på strekkfastheten etter at det er dannet riss. Makrofibrene kan antas å være forankret på begge sider av et riss, på grunn av lengden av disse [8]. Fibrene kan ha forskjellige former og

tykkelser. Fiberbetong, fibertyper og detaljerte beregningsmodeller for fiberbetong beskrives godt i Norsk betongforenings Publikasjon nr. 38.

Tynne fibrer gir flere kilogram fiber i betongen pr. kubikkmeter, men de er vanskelig å blande godt inn i betongen, og det er da mulighet for at det dannes «fiberballer» [32]. «Fiberballer» er klynger med fiberarmering som ikke er ønsket i betong, fordi fibrene ikke fordeles jevnt utover i betongvolumet, og dermed vil kapasiteten til betongen reduseres. Stålkvaliteten på fibrene bør bestemmes i forhold til betongkvaliteten.

Stålfibrene består av kaldtrukken wire og har en lengde på 10-80 mm og slankhetsforhold L/d på 60 – 120 [32]. Disse fibrene kan ha tre forskjellige former. Det er rett fiber, fiber med krok på endene og fiber med deformert ende, se Figur 17. Det er den fibertypen med deformert ende som er aktuelt i dette prosjektet.



Figur 17: Fiber med krok [32].

Fiberarmeringen er spesielt egnet for å ta opp skjærkrefter [32]. Betong som skal fiberarmes må ikke vibreres på grunn av at fibrene vil kunne skifte retning, og derfor må det kun benyttes selvkomprimerende betong (SKB) [32].

Fibrene i betongen vil fordele seg godt i hele betongen [32]. Dette er dokumentert gjennom mange forsøk og tester. Det er for eksempel gjennomført et forsøk der en betong støpes med en fibermengde på 50 kg pr. m^3 , og etter støpingen er målt fibermengde 48-52 kg [32]. Dette forsøket er ifølge Mapei et godt bevis på hvor godt fibrene fordeler seg i betongen. Som nevnt i 5.1.10 fiberarmes gulv normalt med en fibermengde lik 25-35 kg/m^3 , litt avhengig av størrelsen på skjærkraften [32]. I Figur 18 er fordelingen av fibrene i en fiberarmert betong vist.

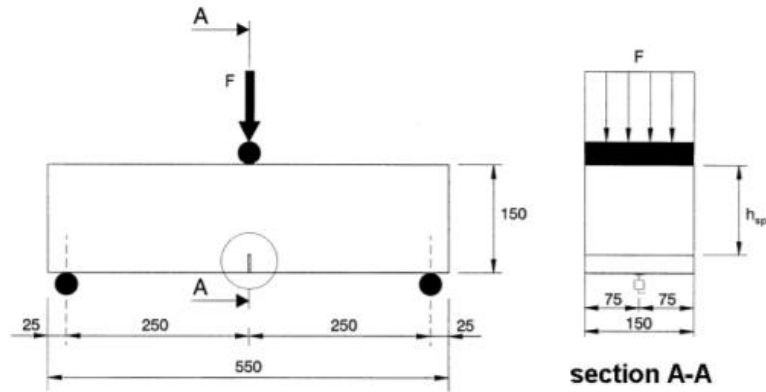


Figur 18: Fiberarmert betong [1].

Ved belastning av fiberarmert betong vil mye av kapasiteten til betongen utnyttes først, og etter hvert vil fibrene gradvis ta tak og omfordele kreftene slik at fiberen tar strekkreftene [32]. Dette skjer samtidig som betongen risser opp. En vil da få en beregningsmessig strekkapasitet til betongen, restbøyestrekfasthet. Etter opprissing av betongen vil fibrene gi en bøyestrekfasthet. To vanlige fagbegreper innenfor temaet fiberarmert betong, er restbøyestrekfasthet og reststrekfasthet. «Restbøyestrekfastheten er en fiktiv randspenning, mens reststrekfastheten er en jevnt fordelt spenning pr. flateenhet fra fibrene som krysser risset», ifølge NB15 [8]. Størrelsen på disse bestemmes ved prøvetester. Dette er en tradisjonell metode for prøvetesting i samsvar med NS-EN 14651+A1 [19]. For gulvløsningen Mapei Expancrete gjennomføres det tradisjonell metode for prøving, mens for Primekss Industrigulv benyttes en metode utviklet av Primekss. Det er i hovedsak fibertype, fibermengde og trykkfastheten til betongen som er av betydning for resultatene av prøvetest [8].

5.3.2 Prøving av fiberbetong

Ved prøving av fiberbetong etter tradisjonell metode i henhold til NS-EN 14651+A1 [19], gjennomføres det en 3-punkts bøyep prøving av 150x150x550 mm prismar med et 25 mm dypt spor på midten, se Figur 19 [8]. Denne er aktuell for løsningen levert av Mapei, men ikke for løsningen fra Primekss.



Figur 19: 3-punkts prøvingstest av fiberarmert betong [19].

Ved dimensjonering i bruddgrensetilstanden anbefales det å fastsette reststrekkfastheten ut fra F_{R3} , som er lasten ved en rissvidde på 2,5 mm i bunnen av sporet på midten av prismet [8].

For denne rissvidden kan reststrekkfastheten til betongen fastsettes etter følgende formel (se Figur 20):

$$f_{ftr,r2.5,prisme} = 0,37 \cdot f_{R3,prisme}$$

Der:

f_{R3} er den fiktive eller ekvivalente restbøyestrekfastheten til prismet for den aktuelle rissvidden.

Formel for f_{R3} :

$$f_3 = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_{R3} \cdot L}{b \cdot h^2}$$

Der:

F_3 = lasten ved 2,5 mm rissvidde.

L = spennvidden

b = bredden på sporets tverrsnitt

h = høyden på sporets tverrsnitt

Hvis det er forskjell mellom fiberinnholdet ved risset og den tilsatte fibermengden i prøvene (nominell fibermengde), kan reststrekkfastheten korrigeres ved bruk av følgende formel:

$$f_{ftr,r,kor} = f_{ftr,r,prisme} \cdot \left(\frac{v_{f,nom}}{v_{f,m\ddot{a}lt}} \right)$$

Der:

$v_{f,nom} =$ Nominelt fiberinnhold i henhold til betongresepten, med benevnelse i volumprosent.

$v_{f,nom} =$ Målt fiberinnhold i prøven

Ved dimensjonering skal disse verdiene omgjøres til karakteristiske og dimensjonerende verdier.

For gulv på grunn kan middelveiene fra forsøkene benyttes i større grad, men det må tas hensyn til at fibre vil kunne være mer retningsorienterte i prismene i forhold til i gulv [8]. For fiberarmering i gulv må det derfor legges inn en reduksjonsfaktor på 0,75 for målt reststrekkfasthet i prøvene.

Uttrykket for midlere reststrekkfasthet for fiber i gulv er da:

$$f_{ftm,r,gulv} = 0,75 \cdot f_{ftm,r,kor}$$

Der:

$f_{ftm,r,kor} =$ middelveien til de eventuelt korrigerte prøveverdiene. Det tas som oftest utgangspunkt i seks prøver for å finne middelveien.

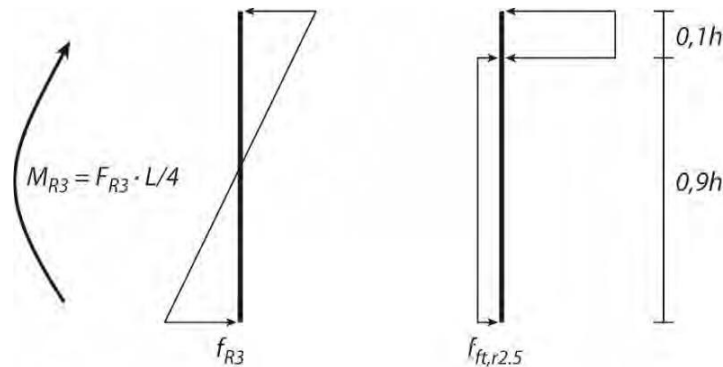
Ifølge NB 15 [8] kan rissvidden etter at det er dannet riss, påvirke reststrekkfastheten for ulike fibertyper forholdsvis mye, og derfor anbefales det å bruke ulike reststrekkfastheter i bruddgrense- og bruksgrensetilstand. I bruddgrensetilstanden tas det utgangspunkt i lasten F_3 ved 2,5 mm rissvidde, mens i bruksgrensetilstanden tas det utgangspunkt i lasten ved 0,5 mm rissvidde. I denne rapporten er det kun bruddgrensetilstanden som er aktuell, se 3.1.

Reststrekkfastheten til fiberarmert betong er liten sammenlignet med strekkfastheten til betong, men allikevel vil denne utgjøre en kraft som kan trekke sammen store gulvfelt [8]. For å illustrere dette kan en restspenning på 1,0 MPa sammenlignes med en kraft på 150 kN pr. meter bredde for et 150 mm tykt gulv.

5.3.3 Dimensjonering

Ved dimensjonering av betong med makrofibrer regnes det normalt ikke med økt strekkfasthet ved initiering av riss, men gulv tilsatt denne fiberen vil ha en strekk- og momentkapasitet etter at det er dannet riss [8].

Ifølge NB 15 [8] kan aksial eller strekk- og momentkapasiteten bestemmes dersom reststrekkfastheten til fiberbetongen er kjent.



Figur 20: Reststrekkfasthet for ren fiberbetong [8].

5.3.3.1 Momentkapasitet

Formel for momentkapasiteten til en fiberarmert gulvkonstruksjon [8]:

$$M_{Rd} = 0,4 \cdot f_{td,2,5\text{gulv}} \cdot b \cdot h^2$$

Ved bruk av momentfaktoren 0,4 forutsettes det at 80 % av tverrsnittshøyden er i strekk og 20 % i trykk. B og h er bredden og høyden på det aktuelle snittet.

5.3.3.2 Skjærkapasitet

Fiberarmert gulv på grunn skal også kontrolleres for skjærkapasitet, spesielt for gjennomløkking på grunn av punktlaster. Fiberarmeringen vil påvirke kapasiteten til betongen, etter at det er dannet skrå riss i betongen på grunn av belastning fra punktlaster [8]. For at det skal dannes skrå riss i fiberarmert gulv på grunn, kan det ifølge NB 15 [8] antas at det må være en viss mengde fiber for å få nødvendig omfordeling av kreftene.

Skjærbidrag fra fiberarmering i gulv som kun er fiberarmert, kan kun medregnes hvis den midlere reststrekkfastheten til fiberbetongen er minst 1,0 MPa. Den midlere reststrekkfastheten kan benyttes som utgangspunkt også for skjærkapasiteten [8].

NS-EN 1992-1-1 [14] punkt 6.4.4 og 6.4.5 benyttes for beregning av skjærkapasiteten til fiberarmerte betongplater.

Skjærkapasiteten til en fiberarmert plate i det kritiske snittet $2d$ fra lastflaten, kan med utgangspunkt i NS-EN 1992 [14] punkt 6.4.5 fastsettes som:

$$V_{Rd,cs} = 0,75 \cdot V_{Rd,c} + 0,6 \cdot f_{fd,2.5,gulv} \cdot \left(\frac{a+d}{a+4 \cdot d} \right) \quad \text{for } f_{fd,2.5,gulv} \geq 1,0 \text{ MPa}$$

Der:

$0,75 \cdot V_{Rd,c}$ og $0,6 \cdot f_{fd,2.5,gulv} \cdot \left(\frac{a+d}{a+4 \cdot d} \right)$ er bidraget til skjærfastheten fra henholdsvis betongen og fiberarmeringen i det aktuelle snittet. I dette uttrykket er a bredden eller diameteren til lastflaten og d er gulvets effektive høyde eller tykkelse. $V_{Rd,c}$ settes lik V_{min} etter NS-EN 1992-1-1 [14] punkt 6.2.2. Faktoren 0,6 benyttes i formelen fordi fiberen ikke vil bidra like mye til kapasiteten ved et skrått riss, sammenlignet med et vertikalt riss. Dette på grunn av retningsorienteringen til fiberen [8].

Ved belastning av større punktlaster anbefales det alltid å kontrollere kapasiteten i bruddgrensetilstand med karakteristiske reststrekkfastheter og aktuelle last- og materialfaktorer [8]. Den karakteristiske reststrekkfastheten kan bestemmes til å være $0,7 \cdot f_{tm,r2.5}$ og da er den dimensjonerende restfastheten $\frac{0,7 \cdot f_{tm,r2.5}}{1,5}$ [8].

Skjærkapasiteten for gjennomlorking skal også for fiberarmert betong beregnes i henhold til NS-EN 1992-1-1, i et snitt med avstand $2d$ fra lastflaten, der d kan settes lik gulvets tykkelse. For fiberarmering kan det antas at denne kun vil virke over et snitt med vinkel på 45 grader like utenfor lastflaten. Dette forenkles til det beregningsmessige vertikale snittet med avstand $2d$ fra lastflaten [8].

Ved for liten kapasitet for skjærkapasitet må gulvtykkelsen økes eller legge inn ekstra slakkarmering lokalt under punktlastene [8]. For gulv med store punktlaster med varierende lastplasseringer, vil det ikke ha noen effekt å legge ekstra slakkarmering i noen lokale områder.

5.3.4 Fordeler med fiberarmerte gulv

Fordeler med gulv med fiberarmert betong istedenfor betong med nettarmering, er at da unngås lange strekk med rør og slanger [8]. Den fiberarmerte betongen i denne typen gulvkonsept vil ha en økt bruddseighet i forhold til betong med slakkarmering, og dermed vil det ikke oppstå like raskt brudd i denne typen betonggulv. Det kan unngås tråkking på

armering ved produksjon av denne typen gulv, fordi det ikke skal legges nettarmering i disse. I tillegg kan det benyttes tyngre maskiner til avtrekking av betong for dette gulvkonseptet, fordi det ikke er mye armering som kan presses ned. Bruken av armering i denne typen gulvkonsept begrenses til utsparinger, søyler, utvendige hjørner, renner og sluk. I fastholdte gulv vil det dannes mindre riss i betonggulv med dette fiberarmerte konseptet, i forhold til bruk av slakkarmering. Det vil derfor være en stor fordel å benytte slike fiberarmerte gulvkonsepter i slike gulv.

Andre fordeler med fiberarmert betong er at det vil være armering i hele tverrsnittet, i stedet for i overkant og underkant, eller bare i overkant. Ved bruk av betong med fiberarmering kan en oppnå redusert byggetid. Dette på grunn av økt effektivitet på byggeplassen ved at det ikke er behov for å bruke tid på å legge ut armering før støping, men heller blåse inn fiber i betongen enten på blandeverket eller like før den skal støpes ut. Det vil også gi mulighet for å kjøre betong med bil helt fram til støpefronten, og da unngås lange strekk med rør og slanger [8]. Det kan i tillegg oppnås en betydelig tidsbesparelse uten utlegging av nettarmering, ved at det kan utføres monteringsarbeid i taket over gulvet fram til kort tid før oppstart av støpearbeidet. Ved bruk av nettarmering vil det ikke være mulighet for å kjøre lifter på grunnen når armeringen er lagt ut. Det vil da være et langt tidsopphold i monteringsarbeidet i taket. I tillegg vil det bidra til økt sikkerhet som følge av mindre fare av å snuble i armeringen og falle [25].

Totalsvinnet i betongen kan reduseres ved å tilsette svinnreduserende og ekspanderende tilsetningsstoffer i betongen [7]. Dersom det antas at betongen har et totalsvinn på 0,6 % uten ekspanderende og svinnreduserende tilsetningsstoffer, vil svinnet for betongen etter tilsetning av disse stoffene være i samme størrelsesorden som betongens strekkføyningskapasitet. Betongen vil altså fortsatt ha et restsvinn. For fiberarmert betong med disse tilsetningsstoffene antas det at totalsvinnet vil reduseres ned til en fjerdedel av det opprinnelige totalsvinnet. Strekkføyningskapasiteten til betongen vil for fiberbetong være 0,15 %. Dette gir et potensial for å oppnå rissfrie gulv.

5.3.5 Ulemper med fiberarmerte gulv

Noen forhold som kan være uheldig ved bruk av denne typen gulvkonsept, er at det kan forekomme fiberoppstikk i betongoverflaten etter utstøping og misfarging [8]. Fiberoppstikk vil være et større problem ved bruk av lange og tynne fibrer, i forhold til korte fibrer. Det vil

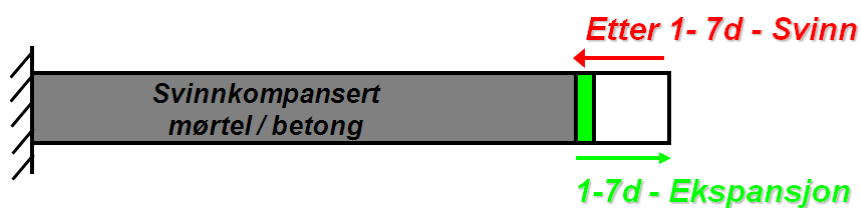
imidlertid normalt ikke være et stort problem, dersom betonggulv har en liten andel av fiberoppstikk. En ulempe er at det da kan dannes krater ved stålglating. For å hindre både misfarging og fibrer som stikker opp, kan det for eksempel legges et lag med hardbetong oppå den fiberarmerte betongen [25].

Effekten av fiber som armering, er først og fremst begrenset av at en ikke har full kontroll på hvordan fibre fordeles og orienteres i betongen. Det er også et viktig moment at fibre har stor påvirkning på støpeligheten til betongen, som medfører utfordringer med å få blandet inn fibermengde som er stor nok for å gi en armeringseffekt [1]. Det vil være en økt risiko for at fibre ryker og det oppstår nivåforskjell i gulvet, i tilfeller der det dannes store riss [8]. Det er i tillegg fare for ujevn fordeling av fibre i betongen (fiberballer).

5.3.6 Fiberarmerte svinnkompenserte gulv

5.3.6.1 Mapei Expancrete

Mapei Expancrete er et fiberarmert betonggulvkonsept med ekspanderende og svinnreducerende tilsetningsstoff, slik at det kan oppnås en svinnkompensert betong [33]. Leverandøren av dette betonggulvkonseptet er det norske selskapet, Mapei AS. Betongen tilsettes et materiale i pulverform som er uorganisk, for å få betongen til å ekspandere med en kraft, slik at når uttørkingssvinn i betongen oppstår, vil svinnet i betongen kompenseres med at betongen ekspanderer [33]. Dette er vist i Figur 21, som viser prinsippet for hvordan en svinnkompensert betong med svinnreducerende tilsetningsstoff og det ekspanderende tilsetningsstoffet Expancrete virker. Prinsippet for dette konseptet forklares med at betongen vil utvide seg de første dagene, for deretter krympe, og den endelige lengden på betongen vil være lik den opprinnelige [34].



Figur 21: Prinsipp for virkningen av Mapei Expancrete [34].

Ekspansjonen som dette tilsetningsstoffet vil gi betongen, vil påvirkes av mengden av dette som tilsettes i betongen, vann/semest-forholdet, størrelse og type tilslagsmaterialer og semesttype og -mengde [33]. Betongens herdeforhold som for eksempel herdetid og herdetemperatur er også avgjørende for ekspansjonen. Ekspansjonen vil reduseres dersom hydratiseringen av sementen i betongen skjer raskere, og dermed vil faktorer som lang blandetid, høy temperatur og høyt masseforhold redusere ekspansjonen av betongen.

I dette betongkonseptet benyttes stålfibrer for at spenningene som opptrer når betongen ekspanderer, skal bli tatt opp [33]. Det er ikke tilstrekkelig med kun bruk av tradisjonell nettarmoring, men det kan benyttes en kombinasjon av nettarmoring og stålfiber.

Ekspansjonen som vil oppstå i betong med Expancrete, vil gi trykkrefter i betongen og strekkrefter i stålet. Dermed vil betong som er tilsatt Expancrete ha en strekkstyrke som er større enn strekkreftene fra svinnet i betongen. På grunn av dette vil ikke betongen sprekke opp.

Tilsetningsstoffet Expancrete skal tilsettes betongen samtidig som de andre delmaterialene som vannet, tilslaget og sementen [33]. Normal dosering av Expancrete er 5-8 % av sementvekten, der ønsket grad av ekspansjon i betongen er avgjørende for hvor mye av dette tilsetningsstoffet som skal tilsettes [33]. For å oppnå ekspansjon av betongen i dette konseptet, må omgivelsene være fuktige, og det beste resultatet av betongen oppnås ved herding i fuktige omgivelser over lengre tid.

5.3.6.2 *Primekss Industrigulv*

Primekss Industrigulv er et fiberarmert betonggulvkonsept med modifisert betong som leveres og produseres av det latviske selskapet, Primekss. Dette er et betongteknologiselskap som utvikler best mulig betonggulvløsninger, planlegger og utfører støp av betonggulv. Dette fiberarmerte betonggulvkonseptet er inkludert et svinnreducerende tilsetningsstoff som kalles PrīmXComposite. Ifølge Primekss [35] er dette det eneste helt fugefrie industrigulvkonseptet som er utviklet.

Betonggulvkonseptet fra Primekss gir et betonggulv med høy styrke, er vedlikeholdsvennlig, gir lave vedlikeholdskostnader og det kan oppnås høy produktivitet under produksjonen av gulvet [35]. Dette skyldes at det oppnås et jevnt og slett gulv som er motstandsdyktig mot slitasje, enkelt å rengjøre, gulvkonstruksjonen er uten fuger og det oppnås tette støpeskjøter. Ifølge Primekss [35] har gulv med dette gulvkonseptet høy styrke fordi de benytter en betong som er 50 % sterkere enn tradisjonell betong, som de selv har utviklet til gulvstøping.

PrīmXComposite forhindrer at det oppstår svinn i betongen. Det vil dermed ikke dannes riss og krakelering, som er vanlige skader i tradisjonelt armerte betongkonstruksjoner [35]. På grunn av at risikoen er mindre for at slike skader skal oppstå i gulv som inneholder det svinnreducerende tilsetningsstoffet, vil det være enklere å oppnå et godt sluttresultat av gulvet, og problemer for bruken av gulvet kan unngås.

Det er det svinnreducerende tilsetningsstoffet som er hovedårsaken til at gulv med gulvkonseptet Primekss Industrigulv kan støpes som fugefritt gulv og uten begrensning i størrelse og geometri [35].

En gulvkonstruksjon med dette betonggulvkonseptet kan lages mye tynnere enn ved et tradisjonelt gulvkonsept med nettarmring. Dette på grunn av denne har stålfiberarmring, en modifisert betong og fordi det benyttes en egenutviklet beregningsformel [35].

Gulvkonstruksjoner med Primekss Industrigulv kan også lages tynnere enn fiberarmerte gulvkonstruksjoner med svinnreducerende tilsetningsstoff [36]. Ifølge Primekss [35] kan det oppnås en konstruksjon som er helt opp til 60 % tynnere med dette konseptet.

Høy produktivitet for produksjonen av Primekss Industrigulv oppnås i hovedsak som følge av at det benyttes fiberarmering i stedet for tradisjonell nettarmoring som må legges ut før støpearbeidet kan igangsettes, og etablering av færre fuger [35]. Ifølge Primekss [35] er tidsbesparelsen hele 30 % for gulvstøping med Primekss Industrigulv, sammenlignet med betonggulv med nettarmoring.

Når gulvet kan støpes med mye mindre tykkelse og uten fuger, vil det gi store besparelser i materialmengder, tidsbruk og kostnader. Denne tidsbesparelsen kan forklares med at støping av tynne betonggulv vil gi flere støpte kvadratmeter pr. time, i forhold til et gulv som har større tykkelse, og dermed vil det tynne gulvet være ferdigstilt før det tykke gulvet. Det kan være tilfeller der det vil være andre forhold som er avgjørende for tidsforbruket. Når det gjelder kostnader vil disse reduseres betydelig som følge av en mer effektiv produksjon, og dermed kan det oppnås en kraftig reduksjon i tidsforbruket som igjen vil gi reduserte lønnskostnader. Kostnadene vil også være mye mindre på grunn av lavere materialkostnader, som følge av at det vil være behov for mindre mengder med materialer, spesielt betong [35].



Figur 22: Primekss industrigulv [35].

5.3.7 Dimensjonering

Gulvkonstruksjoner som skal produseres med gulvkonseptet Primekss Industriegulv, dimensjoneres av leverandøren, Primekss [7]. Det fiberarmerte gulvet med det svinnreduserende tilsetningsstoffet, PrīmXComposite dimensjoneres etter bruddlinjeteori.

Primekss har gjennomført fullskalaforsøk av Primekss Industriegulv i lab, for å teste kapasitet, funksjon og egenskaper til dette betonggulvkonseptet [35]. Fullskalaforsøk i lab benyttes for å sikre og dokumentere at eventuelle forbedringer av konseptet gir tilstrekkelig kapasitet.

Primekss har blant annet optimalisert materialformler som benyttes til dimensjonering av denne typen gulvkonstruksjon.

5.4 Etterspent gulv uten fuger

Etterspente gulv er spennarmert betonggulv med spennarmering av kabler som består av ett eller flere spenntau som igjen består av flere spenntråder i stål, og som ligger inni kabler av plast eller stål. [20] Det skilles mellom spennkabler med heft og uten heft. Spennkabler med heft injiseres med sementmørtel etter oppspenning, mens spennkabler uten heft injiseres normalt kun med fett, eller at disse er innkapslet i plastrør som er fettinjisererte [20]. I gulv på grunn benyttes normalt uinjisererte spennkabler uten heft i plastrør [7].

Ved å benytte fettmasse mellom spenntau og plastrør, vil det gi en reduksjon av friksjonen og beskyttelse mot eventuell korrosjon av spenntau. Når friksjonen reduseres vil det bidra til at tapet av spennkraft under oppspenningen vil bli mindre. [10].

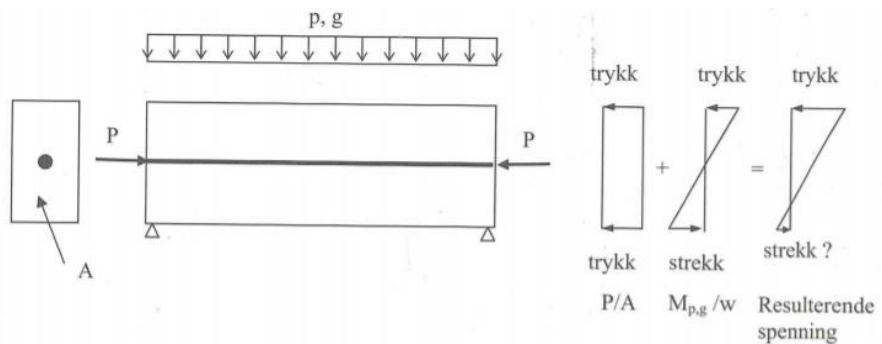
Bruddkapasiteten for moment vil for konstruksjoner med uinjisert spennarmering være lavere enn ved bruk av injisert spennarmering, fordi uinjisert spennarmering ikke vil gi økt rissfordeling [10].

For konstruksjoner med uinjisert spennarmering er endeforankringene og en tett fettmasse som forhindrer korrosjon særdeles viktig for sikkerheten, fordi uinjisert spennarmering ikke har noen heft til konstruksjonen bortsett fra ved endeforankringene [10].

Generelt er spennarmert betong en betong som delvis kan motvirke de ytre lastene som virker på betongen ved at det påføres en trykkspenning med en fordeling og størrelse som er optimalt tilpasset for hvert konstruksjonstilfelle [10]. Trykkspenningene i betongen vil oppstå når spennarmeringen gis en tøyning på oppspenningstidspunktet som har en strekkraft som er

uavhengig av tøyningen til betongen. Ved endeforankringene av spennarmeringen vil strekkraften i armeringen overføres som trykk i betongen eller ved heft mellom betongen og spennarmeringen [10]. Ved bruk av spennarmering kan trykkfastheten til betongen utnyttes bedre, og da også kompensere for den manglende strekkfastheten til betongen [1].

Dette kan illustreres som vist i Figur 23. I denne figuren er det vist en rektangulær, fritt opplagt betongbjelke med spennarmering i tyngdepunktsaksen som er forspent [10]. Det antas at en ytre kraft, spennkraft P , vil virke på bjelken. Til høyre i Figur 23 er normalspenningsfordeling over tverrsnittet vist. Normalspenningen i tverrsnittet fra spennkraften og den ytre lasten legges sammen og gir en resulterende normalspenning.



Figur 23: Sentrisk spennarmert betongkonstruksjon (bjelke) [10].

Ved å plassere spennarmeringen nedenfor tyngdepunktsaksen og ned mot underkant av bjelken kan det oppnås en positiv effekt når det gjelder reduksjon av strekk og oppsprekking i underkant av bjelken [10]. Dette vil ikke være aktuelt for betonggulv på grunn fordi den oppspente spennarmeringen også skal forhindre dannelse av riss i overkanten av betongkonstruksjonen.

Det er derfor ikke aktuelt å flytte spennarmeringen mot underkanten av betongen, men plassere spennarmeringen midt i tverrsnittet [37]. Ved å flytte spennarmeringen opp i konstruksjonen, vil denne få en lavere kapasitet for belastning. Det vil da kunne dannes flere uønskede riss i underkanten av konstruksjonen som fører til at betongen vil få lavere bestandighet. Nedbøyningen av en betongkonstruksjon med en gitt ytre belastning vil være større for konstruksjonsløsningen der spennarmeringen plasseres i øvre del av tverrsnittet, sammenlignet med løsningen med spennarmering midt i tverrsnittet. En konstruksjon med spennarmering plassert i øvre del av tverrsnittet, gir altså en svakere konstruksjon. Dermed er heller ikke denne aktuell for betonggulv på grunn.

I etterspente betonggulv spennes spennarmeringen opp og påføres strekkrefter etter at betongen har herdet en del og oppnådd noe fasthet [20]. Dette er motsatt i forhold til førøppspente betongkonstruksjoner, der spennarmeringen spennes opp før betongen støpes. Den sistnevnte metoden benyttes i hovedsak til produksjon av betongelementer med spennarmering som for eksempel hulldekkelementer [10]. «Forskjellen ligger i om spennstålet påføres strekk før eller etter at betongen er støpt og herdnet» [10].

For etterøppspente betonggulv gjennomføres oppspenningen av spennkablene som ligger i betongen som oftest i tre omganger [37]. Normalt spennes spennarmerte betongdekker fullt opp når betongen har oppnådd en fasthet på 24 MPa. For spennarmerte gulv på grunn gjennomføres 25 % av oppspenningen etter ca. 1 dag, 50 % oppspenning etter 2 dager og full oppspenning etter 3 dager. Dette kan justeres noe i forhold til fasthetsutviklingen til betongen. Ved å gjennomføre oppspenningen på denne måten, vil effekten av kryp og svinn i betongen reduseres.

For å oppnå et spennarmert industrigulv med minst mulig fuger, igangsettes normalt støpearbeidet fra midten av gulvet med først å sette av en åpning på omtrent én meter mellom to støpeetapper på midten [37]. Deretter støpes etappene ut til hver av sidene, og til slutt støpes det gjenstående området på midten. Dette vil kunne gi et betonggulv uten fuger og riss.

Spennkablene i et betonggulv legges sentrisk i begge retninger i dekket [37]. Vanligvis plasseres spennkablene jevnt fordelt utover med samme avstand mellom kablene. Dersom det er lokale områder med dårlig grunn under gulvkonstruksjonen, kan det legges inn flere kabler i det aktuelle området. Fordeling av kabler og antall kabler bestemmes med bakgrunn i ønsket trykkspenning i gulvet. Normal trykkspenning er 1,5-2,1 MPa [37].

Bruksområder som er aktuell for uinjisert spennarmering er i plasstøpte plater som for eksempel flatdekkekonstruksjoner opplagret på søyler og vegger, samt gulvplatekonstruksjoner på grunn som er den konstruksjonen som er aktuell i denne rapporten.

Ved å installere uinjisert spennarmering i betongkonstruksjoner kan det oppnås betongplater uten riss og med små nedbøyninger.

Uinjisert spennarmering er økonomisk gunstig i en betongplate der det ønskes at forspenningen fordeles godt i platen, ved at det kan installeres mange spennenheter med for eksempel et spenntau i hvert plastrør [10].

Ved bruk av etteroppspent betonggulv begrenses opprissing og rissvidder [10]. Det kan dermed oppnås en konstruksjon med større tetthet og bedre bestandighet enn de tre andre konseptene i denne rapporten. Eventuelle nedbøyninger i gulvkonstruksjonen vil reduseres på grunn av at når spennarmeringen spennes opp vil tverrsnittet presses sammen, samt økt bøyestivhet som følge av mindre opprissing [10].

5.4.1 Materialer

5.4.1.1 Betong

I spennarmerte betongkonstruksjoner benyttes vanligvis betong med høyere fasthet, i forhold til det som normalt benyttes for slakkarmerte konstruksjoner [10]. Årsakene til dette er at betongen vil påføres større trykkspenning ved oppspenning av betongen, samt at betongens deformasjoner ved oppspenning vil kunne bli mindre. De høyeste trykkspenningene vil være i forankringssoner. Normale fasthetsklasser for spennarmerte betongkonstruksjoner er B35-B55. En av grunnene for å oppnå tidligfasthet, er for å øke betongens kapasitet for trykkbelastning slik at en kan spenne opp konstruksjonen tidligere. Ved oppspenning av konstruksjonen vil betongen få en ekstra trykkbelastning som den må ha kapasitet til å ta opp.

For en betong som skal benyttes i spennarmerte konstruksjoner, er det viktig å velge en sammensetning og delmaterialer slik at det oppnås lite kryp og svinn[10]. Dersom dette oppnås, vil det gi redusert tap av spennkraften over et lengre tidsrom.

5.4.1.2 Spenntau

Spennetau består av spennstål med høy fasthet, for å kunne oppnå full oppspenning over lengre tid. Dette fordi kryp og svinn i betongen og relaksasjon i stålet bidrar til at spennkreftene blir mindre etter lang tid [10]. For å oppnå et stål med høy fasthet benyttes en kombinasjon av legering og kaldbearbeiding som også kalles kaldtrekking [10].

Spennarmeringen skal ifølge NS-EN 1992 [14] punkt 3.3.2(4) klassifiseres med hensyn til relaksasjon eller benytte relaksasjon som oppgis i en relevant europeisk teknisk godkjenning [10].

Relaksasjon inndeles i følgende klasser i NS-EN 1992 [14] punkt 3.3.2(4):

- Klasse 1 tråd eller tau – vanlig relaksasjon
- Klasse 2 tråd eller tau – lav relaksasjon
- Klasse 3 varmvalsete og bearbejdede stenger

5.4.2 Dimensjoneringsforutsetninger

Dimensjonerende verdi for stålspenning er: $f_{pd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma_s}$

Der:

Karakteristisk fasthet: $f_{p0,1k} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$

Sikkerhetsfaktor: $\gamma_s = 1,5$

Elastisitetsmodul for spenntråd og spennstenger: $E_p = 2,05 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$

Elastisitetsmodul for spenntau: $E_p = 1,95 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$

Spennstål med tråder som har diameter lik 4-5 mm er mest vanlig. Disse har en karakteristisk fasthet som for spennstål kalles «0,1%-grensen» $f_{p0,1k}$, altså spenningen når stålet oppnår 0,1 % inelastisk tøyning som er avviket fra lineært elastisk tøyning. Disse spenntrådene har 0,1 % -grense $f_{p0,1k} = 1500\text{-}1800 \text{ N/mm}^2$ som tilsvarer over tre ganger fastheten til vanlig armeringsstål [10].

Største spennkraft punkt 5.10.2.1 i NS-EN 1992-1-1 [14]:

$$P_{\max} = A_p \cdot \sigma_{p,\max}$$

Der:

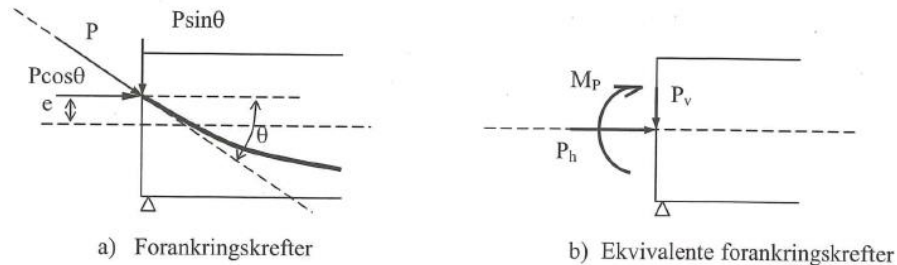
A_p	=	Spennarmeringens tverrsnittsareal
$\sigma_{p,\max}$	=	Største spenning påført spennkabelen
	=	$\min \{k_1 \cdot f_{pk} ; k_2 \cdot f_{p0,1k}\}$ der $k_1 = 0,8$ og $k_2 = 0,9$

Relaksasjon er reduksjon av spenningen i stål som utsettes for konstant tøyning over lang tid [10]. Dette er aktuelt for all spennarmering som spennes opp.

Det benyttes ulike formler for dimensjonering av spennarmerte betongkonstruksjoner med hensyn til den geometriske formen på spennarmeringen i konstruksjonen [10].

5.4.2.1 Forankringskrefter

I områdene der spennarmeringen endeforankres vil det opptre forankringskrefter som er konsentrerte laster på konstruksjonen, se Figur 24.



Figur 24: Forankringskrefter ved endeforankring av spennarmering [10].

I tilfeller der spennarmeringen legges helt eller delvis utenfor tyngdepunktsaksen til konstruksjonen, vil spennarmeringen ha en eksentrisitet [10].

5.4.2.2 Spennkrafttap

Ved oppspenning av spennarmeringen benyttes en jekkraft som måles. Denne vil reduseres av ulike årsaker, og denne reduksjonen av spennkraften er spennkrafttapet [10].

Det er i hovedsak 3 forskjellige typer spennkrafttap [10]:

- Tap av tøyingsdifferanse mellom spennarmering og betong
- Spenningsendring pga korttidslast
- Tidsavhengige tap der blant annet kryp i betongen er av betydning

Tap av tøyingsdifferanse oppstår når det ikke er heft mellom spennarmeringen og betongen [10]. Det er spesielt aktuelt for etterspente konstruksjoner og spennarmering som er uinjisert. Tap på grunn av tøyingsdifferanse kan forårsakes av forhold som låsetap, friksjonstap og temperaturtap. Med låsetap menes det at spennstålet glir noe før kilen som skal holde armerringen stram, blir låst i punktet der jekkraften påføres spennarmeringen, og som er i den aktive forankringsdelen der jekkraften påføres spennarmeringen.

Spenningsendring på grunn av korttidslast er vil forekomme i etterspente konstruksjoner når spennkablene i konstruksjonen spennes opp én etter én [10].

6 Prosjektet BOS Berger

6.1 Generell prosjektspesifikk del

I prosjektet til Bertel O. Steen skal gulvet ha god slitestyrke, og det er derfor viktig å produsere et gulv som har høy fasthet, uten separasjon, har plan overflate og gode herdebetingelser [8].

De gulvløsningene som er aktuelle for industrigulvet til Bertel O. Steen er en løsning med tradisjonell nettarmering, to ulike konsepter for en gulvløsning med fiberarmering og en gulvløsning med etterspent gulv. De to konseptene med fiberarmering er Mapei Expancrete og Primekss Industrigulv, som begge består av svinnkompensert betong, men som tilsettes ulike typer tilsetningsstoffer for å oppnå dette. Konsept som leveres av Mapei har ekspanderende og svinnreducerende tilsetningsstoff, mens konseptet som leveres av Primekss inneholder et svinnreducerende tilsetningsstoff.

Funksjonskrav til industrigulvet i prosjektet logistikkklager til Bertel O. Steen, er at gulvet skal ha høy bruksmessig kvalitet og god slitestyrke. Det skal derfor være minst mulig fuger i gulvkonstruksjonen, på grunn av at disse er en ulempe for vedlikehold og bruken av gulvet. Fugene er vanskelige å rengjøre, og dermed vil det hele tiden bli liggende støv og smuss i fugene. Fuger vil bidra til ekstra slitasje på kjøretøy når disse passerer fugekantene. Byggherren er også opptatt av det estetiske, og ønsker heller ikke at det skal dannes svertemerker eller hjulspor på betonggulvet.

I prosjektet som Skanska skal bygge for Bertel O. Steen dimensjoneres betonggulvet ikke etter gulvklasser i henhold til NB15 [8], og dermed skal ikke gulvet nødvendigvis oppfylle kravene for gulvklasser i Tabell 1. Årsaken til dette er i hovedsak på grunn av at det aktuelle gulvet skal primært dimensjoneres for laster, men også på grunn av at temaet gulvklasser ble innført i NB 15 [8], og denne ble utgitt etter at planleggingen av gulvet var igangsatt. Likevel vil kravene som stilles for gulvklasser i NB 15 [8] (se Tabell 1) også være aktuelt for dette gulvet, på grunn av at dette skal ha minst mulig svinn. En bør derfor forsøke å unngå betongresepter med steinreduksjon, fordi disse vil kreve høyere bindemiddelmengde [8].

Laster som er planlagt å virke på den aktuelle gulvkonstruksjonen er omtalt i 6.3. Ved fuger neglisjeres den jevnt fordelte lasten i dimensjoneringen for dette prosjektet. For å begrense

rissandelen i den aktuelle gulvkonstruksjonen vil det være en fordel å velge M45-betong i stedet for M60, på grunn av at risikoen for svinn vil bli mindre ved lavere masseforhold [7].

6.1.1 Bærelag

I prosjektet til Bertel O. Steen velges det en løsning for oppbygging av betonggulv uten isolasjon som vist i Figur 9, men for deler av gulvet nærmere enn 3 m til yttervegg, velges en løsning med isolasjon som vist i Figur 10. Dette for å ivareta krav i bygningsfysikk med hensyn til kuldebroer.

I prosjektet til Bertel O. Steen skal det kun benyttes isolasjon nærmest ytterveggene, og det vil derfor ikke være aktuelt å bestemmes stivheten til bærelaget ut fra isolasjonslaget, men med hensyn til massene i grunnen.

I det aktuelle prosjektet skal bærelag bestå av godt komprimerte masser, i henhold til prosjekteringsgrunnlaget i 6.3.3.1. Det forutsettes at de godt komprimerte massene kan tilsvare godt komprimert sand i Tabell 2. Det forutsettes at for disse massene er grunnens stivhetstall eller k -verdi lik $0,10 \text{ N/mm}^3$ [31]. Stivhetstallet benyttes i denne rapporten kun i beregningene for gulvets momentkapasitet.

6.1.2 Glidesjikt

I logistikklageret på Berger er det planlagt å benytte ett lag PE-plast under betonggulvet, selv om NB 15 [8] anbefaler at det benyttes to lag PE-plast [7]. Det er bestemt etter at Skanska har vurdert HMS-forholdene til arbeiderne som skal gå på platen i byggeperioden. Ved bruk av to lag plast, vil friksjonen mellom de to lagene med plast være så liten at det vil kunne føre til farlige situasjoner for arbeiderne. En farlig situasjon kan oppstå ved at det øverste plastlaget plutselig kan skli bort, når en person setter foten ned på platen, og kan føre til et fall med personskade som konsekvens [7]. Ett lag plast vil kunne gi et gulv med større risiko for fastholdning mot underlaget, og dermed er det mer sannsynlig for at riss kan oppstå. Dersom gulvet dimensjoneres i hovedsak etter [8], skal en generelt være varsom med å gå bort fra to lag plast.

6.1.3 Fuger

I prosjektet til Bertel O. Steen har det høy prioritet å etablere minst mulig fuger, for å oppnå et gulv med god funksjonalitet. Det er valgt en dybelløsningen som er et fugeprofil med dybler og stålplater. Produktnavnet til dette fugeprofilen er «Alphajoint classic 4010», og leveres av Permaban, se Figur 25. Årsaken til at denne dybelløsningen er valgt, er fordi gulvet vil få stor belastning av tunge flyttbare laster over fugene. En slik løsning vil gi mindre fugeåpninger og god motstand mot slitasje.



Figur 25: Fugeprofilen "Alpha classic 4010" [38].

I henhold til produktbeskrivelsen i Vedlegg A, har det valgte fugeprofilen dybler med diameter lik 8 mm og er tilpasset gulv med tykkelse på 200 mm [38]. Fugeprofilen er dimensjonert for en belastning på 49,9 kN/m for avskjæring av dybel og 87,2 kN/m for bøyning av dybel.

Gulvtykkelsen på industrigulvet hos Bertel O. Steen er i hovedsak bestemt med bakgrunn i risikoen for gjennomlokking på grunn av skjærtrykkbrudd. Det er fordi det ikke kan armeres for gjennomlokking når punktlaster kan opptre på hele gulvflaten [31].

Industrigulvet til Bertel O. Steen skal som nevnt dimensjoneres først og fremst i for punktlaster i bruddgrensetilstanden, og dermed er dette den viktigste kapasitetskontrollen for det aktuelle gulvet.

6.1.4 Radonsperre

I henhold til «Byggteknisk forskrift (TEK 10)» [22] skal alle nye bygninger beregnet for varig opphold, prosjekteres og utføres med radonforebyggende tiltak. Dette for å begrense inntrengning av radongass fra grunnen. Radonforebyggende tiltak kan utføres ved å legge radonsperre under betonggulvet [8]. Dette sjiktet skal være luft- og diffusjonstett, og med godkjente tettedetaljer. Det skal iverksettes ekstra tiltak dersom inneluften kan få en radonkonsentrasjon som overstiger 100 Bq/m^3 . Det kan likevel være tilstrekkelig med god ventilasjon istedenfor for å legge radonsperre, for å sikre at radonkonsentrasjon i bygningen er lavere enn maks tillatt radonkonsentrasjon.

Eventuelt kan det produseres en vanntett betongkonstruksjon. For å oppnå et vanntett betonggulv må betongkvaliteten være vanntett, armeringsmengden må være tilpasset dette ved at det benyttes en minste armeringsmengde lik to ganger den minste armeringsmengde ($2 \times A_{s,\min}$), og at det benyttes tette gjennomføringer, fuger og støpeskjøter [7]. For en vanntett betongkvalitet stilles det i henhold til NS-EN 206 [9] punkt NA.5.5.3 krav til at tilslaget som skal benyttes i betongen er velgradert, at masseforholdet til betongen er lavere enn 0,5, og at betongen har ubetydelig vannutskillelse. Dersom det skal benyttes vanntett betong, kan det ikke benyttes en M60-betong, da denne overstiger kravet til en vanntett betong i henhold til NS-EN 206 [9]. Det kan derimot benyttes en M45-betong som har lavere masseforhold enn 0,5, og oppfyller dermed kravet.

Ifølge [8] kan urisset betong oppfylle kravene til radonsperre, men fordi det er knyttet usikkerhet til om en vil oppnå en helt rissfri betong, anbefales det ikke å la betonggulvet fungere som radonsperre.

I logistikklageret til Bertel O. Steen skal det ikke legges radonduk, på grunn av usikkerheter knyttet til å oppnå et tett sjikt, og fordi det for de fiberarmerte konseptene skal kjøres med maskiner og biler oppå bærelaget under utstøpingen [7]. Istedenfor radonsperre kan det benyttes en ventilasjonsløsning som gir tilfredsstillende utskifting av luften i bygningen.

6.2 Generelt dimensjoneringsgrunnlag

6.2.1 Risikoklasse og brannklasse

Konstruksjonens risikoklasse og brannklasse bestemmes i henhold til «Byggteknisk forskrift (TEK 10)» [23] til å være:

Risikoklasse: 1

Brannklasse: 1

6.2.2 Pålitelighetsklasse

Pålitelighetsklassen til byggverket/konstruksjonen bestemmes i henhold til NS-EN 1990 [12].

Type byggverk: Betongplate på grunn

Konsekvens ved brudd: Middels

Dette gir følgende pålitelighetsklasse: Pålitelighetsklasse 2

Denne pålitelighetsklassen er valgt fordi konstruksjonen er en slakkarmert betongplate som er plassert på grunn, og det vil være små konsekvenser for at liv skal gå tapt ved et eventuelt brudd. Det vil derimot kunne gi store økonomiske konsekvenser.

6.2.3 Tiltaksklasse

Et tiltak som et byggverk/konstruksjon er, skal plasseres i en tiltaksklasse i henhold til Byggesakforskriften (SAK 10) [39].

Med hensyn til konstruksjonssikkerhet plasseres konstruksjonen i dette tilfellet i følgende tiltaksklasse, på grunn av at den har pålitelighetsklasse 2:

Tiltaksklasse 2 Liten til middels kompleksitet og vanskelighetsgrad, der mangler eller feil kan føre til små til middels konsekvenser for helse, miljø og sikkerhet [39].

6.2.4 Dimensjonerende brukstid

I henhold til NS-EN 1990 [12] bestemmes konstruksjonens dimensjonerende brukstid til å være 50 år.

6.2.5 Kontroll av prosjekteringen

Fra pålitelighetsklassen bestemmes kontrollklassene:

Kontrollklasse for prosjektering: Normal

Kontrollklasse for utførelse: Normal

6.2.6 Lastfaktorer og grensetilstander

Lastkombinasjoner velges i henhold til nasjonalt tillegg (NA) i NS-EN 1990 [12].

6.2.6.1 Lastfaktorer i bruddgrensetilstanden (ULS)

For påvisning av statisk likevekt i henhold til NS-EN 1990 [12], tabell NA.A2.4(A):

Tabell 3: Dimensjonerende verdier for laster (utdrag fra sett A i tabell NA.A2.4(A) i NS-EN 1990) [12].

Vedvarende og forbigående dimensjonerende situasjoner	Permanente laster		For-spenning	Dominerende variabel last (*)	Øvrige variable laster (*)
	Ugunstig	Gunstig			
(Ligning 6.10)	$\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,inf}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_{p,sup} P$ $\gamma_{p,sup} P$	$\gamma_{Q,i} Q_{k,i}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(*) Variable laster er ført opp i tabellene NA.A2.1 til NA.A2.3 i nasjonalt tillegg (NA) i NS-EN 1990					
Merknad: Følgende γ					
$\gamma_{G,sup} = 1,0$					
$\gamma_{G,sup} = 0,90$					
Øvrige γ -verdier er som angitt i tabell NA.A2.4(B) i nasjonalt tillegg (NA) i NS-EN 1990					

For påvisning av kapasitet og brudd i grunnen i henhold til NS-EN 1990 [12], tabell NA.A2.4(B) og tabell NA.A2.4(C):

Tabell 4: Dimensjonerende verdier for laster (utdrag fra sett B i tabell NA.A2.4(B) i NS-EN 1990) [12].

Vedvarende og forbigående dimensjonerende situasjoner	Permanente laster		For-spenning	Dominerende variabel last (*)	Øvrige variable laster (*)
	Ugunstig	Gunstig			

(Ligning 6.10 a)	$\gamma_{G,j,sup}$ $G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_p P$	$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
Ligning 6.10 b)	$\zeta \gamma_{G,j,sup}$ $G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_p P$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(*) Variable laster er ført opp i tabellene NA.A2.1 til NA.A2.3 i nasjonalt tillegg (NA) i NS-EN 1990					
Merknad: Følgende sett med γ - og ζ -verdier benyttes ved bruk av uttrykk 6.10a og 6.10b: $\gamma_{G,sup} = 1,35$ for permanent last $\gamma_{G,j,inf} = 1,0$ for permanent last $\gamma_Q = 1,35$ for vegtrafikk fra kjøretøyer og fotgjengere, hvis ugunstig (0 hvis gunstig) $\gamma_Q = 1,5$ for øvrige variable laster, hvis ugunstig (0 hvis gunstig)					

6.2.6.2 Lastfaktorer i bruksgrensetilstanden (SLS)

I henhold til NS-EN 1990 [12] bør det i bruksgrensetilstanden benyttes partialfaktor lik 1,0, så fremt standardene NS-EN 1991-1999 ikke angir noe annet.

6.2.7 Vannstands nivå/grunnvannsnivå

Grunnvannsnivået er oppgitt til å være i kote +177, og dermed antas det at det ikke vil oppstå problemer med oppløft av gulvkonstruksjonen [31].

6.2.8 Materialfaktorer, bruddgrensetilstand

Armert betong, γ_s : 1,5

Armering B500C, γ_s : 1,15

6.2.9 Eksponeringsklasse og bestandighetsklasse

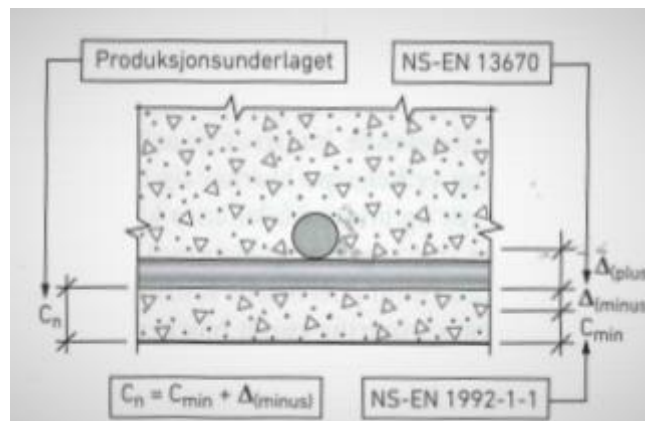
For industrigulvet til Bertel O. Steen utsettes for miljøpåvirkninger som klassifiseres til eksponeringsklasse XC3 i henhold til tabell 4.1 i NS-EN 1992-1-1 [14]. Denne eksponeringsklassen er valgt fordi det er en betong som er i kontakt med grunnen som kan tilføre betongen fuktighet, og dermed må denne være bestandig mot karbonatisering. Ved den øverste delen av betongtverrsnittet er det lav luftfuktighet, og permanent tørt. Dette gir eksponeringsklasse XC2, men vil ikke være dimensjonerende fordi betongen skal

dimensjoneres for den høyeste eksponeringsklassen den er plassert i, som i dette tilfellet er XC3 [14].

For betong med eksponeringsklasse XC3 kan bestandighetsklassen i første omgang bestemmes til M60 i henhold til tabell NA.4.4N i NS-EN 1992-1-1 [14], men på grunn av at NB15 [8] stiller krav til at masseforholdet skal være mindre enn 0,4, må det velges en bedre bestandighetsklasse enn M60, og dermed velges M40.

6.2.10 Overdekning

Betonggulv dimensjoneres normalt for 50 års brukstid, og da vil minimum overdekning for betong i eksponeringsklasse XC3 være 25 mm i henhold til tabell NA.4.4N i NS-EN 1992-1-1 [14].



Figur 26: Overdekning til en betongkonstruksjon [1].

Nominell overdekning:

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}}$$

Der:

$$\begin{aligned} c_{\text{min}} &= 25 \text{ mm som er minimum overdekning for armeringsstål} \\ \Delta c_{\text{dev}} &= 10 \text{ mm som er tillatt avvik} \end{aligned}$$

Underkant (UK): Konstruksjonen skal støpes mot avrettet grunn, og dermed skal overdekningen være minst k_1 lik 40 mm i henhold til punkt 4.4.1.3(4) i NS-EN 1992-1-1 [14].

Beregnet nominell overdekning mot underkant av gulvet:

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}} = 40 + 10 = 50 \text{ mm}$$

Overkant (OK): Overkantarmeringen bør legges så høyt opp i gulvkonstruksjonen som mulig for å oppnå god rissfordelende effekt, ifølge NB 15 [8], men likevel ikke nærmere overflaten enn beregnet nominell overdekning på 35 mm.

Beregnet nominell overdekning mot overkant av gulvet:

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

6.2.10.1 Etterspent gulv

For etteroppspent betonggulv med spennstål som dimensjoneres for 50 års brukstid, vil minimum overdekning være 35 mm for betong i eksponeringsklasse XC3 i henhold til tabell NA.4.5N i NS-EN 1992-1-1 [14].

Med hensyn til heft er kravet til minste overdekning, $c_{\text{min,b}}$ for forspenning med spenntau 1,5 ganger diameter, i henhold til tabell NA.4.5N i NS-EN 1992-1-1 [14]. Diameteren til spennkabelen antas å være 12,7 mm.

Dette gir en nominell overdekning med følgende størrelse:

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}} = 35 + 10 + 1,5 * 12,7 = 64,05 \text{ mm}$$

Underkant (UK): Samme armeringsoverdekning som beregnet for underkant av betongtverrsnittet ved armeringsstål, altså 50 mm.

Overkant (OK): Overkantarmeringen bør legges så høyt opp i gulvkonstruksjonen som mulig for å oppnå god rissfordelende effekt, ifølge NB 15 [8], men likevel ikke nærmere overflaten enn beregnet nominell overdekning på 64,05 mm.

6.3 Laster på konstruksjonen

Dette kapitlet inneholder kun karakteristiske laster.

6.3.1 Jevnt fordelte laster

Jevnt fordelt nyttelast på 3000 kg/m^2 , som tilsvarer en jevnt fordelt last på 30 kN/m^2 [40].

6.3.2 Punktlaster fra reoler

Det er uklart hva som er reell belastningssituasjon, derfor benyttes det lasttilfellet som gir størst belastning på gulvet (se 3.1). Fordi dette også gjøres av Primekss, Mapei og delvis også Thilt Engineering, velges dette her. Gulvet skal dermed dimensjoneres for to reolbein som skal ha en total karakteristisk last på 360 kN med en lastutbredelse på $300 \times 300 \text{ mm}$. Dette tilsvarer last en karakteristisk last på 180 kN fra hvert av reolbeinene. Dette utgjør omtrentlig en dobbel belastning på gulvet i forhold til lasttilfellet som Skanska har dimensjonert for.

Dette er bestemt i samarbeid med veileder etter å ha lest kravspesifikasjonene fra Bertel O. Steen, undersøkt dimensjoneringsgrunnlaget som er tilgjengelig for to av gulvkonseptene, samt etter å ha drøftet dette med både Håkon Selen i Skanska og Ģirts Kļaviņš i Primekss Norge.

Last fra reolbein vil ikke opptre midt på betonggulvet, da det skal være kjørebane for trucker i områder uten fuger [7]. Lastene fra reolbein skal også inntreffe minimum 600 mm fra kant av gulvet [7]. Det vil dermed kun være aktuelt å kontrollere betonggulvets kapasitet for innerlast, altså ikke for kant- eller hjørnelast.

I det aktuelle prosjektet vil den største belastningen på gulvet være for en lastsituasjon med to reolrader som skal plasseres inntil hverandre. Det er i disse områdene gulvet vil belastes av en total punktlast på 360 kN . Denne punktlasten består opprinnelig av to punktlaster på 180 kN fra de reolbeinene i bakkant av reolene, men fordi disse virker på et veldig begrenset område forenkles disse til én stor punktlast i dimensjoneringen [7].

6.3.3 Punktlaster fra roboter

Ikke tatt hensyn til, se 3.1.

6.3.3.1 Jordtrykk

Tillatt jordtrykk er 400 kPa. Det benyttes et bærelag av godt komprimerte masser. Det forutsettes at disse massene har en stivhet som er typisk for godt komprimerte sand, altså en k-verdi mellom 0,10 og 0,15. Det benyttes derfor en k-verdi lik 0,10 N/mm² [31].

6.4 Lastkombinasjoner

Fra 3.1 er det bestemt at i denne rapporten skal det aktuelle gulvet kun dimensjoneres i bruddgrensetilstanden.

Lastfaktorer:

- Egenlast:
 - Gunstig: 1,2
 - Ugunstig: 0,9
- Nyttelast: 1,5

Dette vil gi følgende størrelser for nyttelaster:

Punktlast fra reol: $P_{Ed, reol} = 180 \cdot 1,5 = 270 \text{ kN}$

Jevnt fordelt: $q_{Ed} = 30 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,5 = 45 \text{ kN/m}^2$

Størrelsene på egenlastene er da:

Betong: $g_{Ed} = g \cdot 1,2$

Der: $g = 24 \text{ kN/m}^3$

Jordtrykk: $400 \text{ kPa} \cdot 0,9 = 360 \text{ kPa}$

6.5 Tradisjonelt slakkarmert gulv

6.5.1 Dimensjonering av gulvkonstruksjonen

6.5.1.1 Beregning av minimumsarmering

For et betonggulv med tykkelse lik 200 mm, betong med fasthetsklasse B45 som gir f_{ctm} lik 3,8 og der armeringens karakteristiske flytegrense f_{yk} er lik 500 N/mm², kan $A_{s,min}$ beregnes:

$$A_{s,\min} = 0,26 \cdot \frac{3,8}{500} \cdot 1000 \cdot 200 \geq 0,0013 \cdot 1000 \cdot 200$$

$$395,2 > 260 \rightarrow \text{OK}$$

$$\rightarrow A_{s,\min} = 395,2 \text{ mm}^2$$

For et tilfelle der det kun skal legges inn en armeringsmengde lik minimumsarmeringen, kan det velges armeringsnett med benevnelsen K402 som består av 8 mm armeringsstenger med senteravstand 125 mm og har armeringsmengde 402 mm²/m som er større enn A_{s,min} som er 395,2 mm²/m (402 mm²/m > 395,2 mm²/m).

6.5.1.2 Armeringsmengde i gulvet

Gulvkonstruksjonen til logistikklageret hos Bertel O. Steen, bør ha en armeringsmengde på tre til fire ganger minimumsarmeringen (A_{s,min}), ifølge konstruksjonsavdelingen i Skanska ved Håkon Selen [31]. Nedenfor i Tabell 5 er det vist noen alternative armeringsmengder som er aktuell for gulvkonstruksjonen, med tilhørende minste armeringstverrsnitt for de alternative armeringsmengdene og armeringsvalg med bakgrunn i minste armeringsmengde. Det er også satt inn en kolonne med tverrsnittsareal til de alternative armeringsvalgene.

Tabell 5: Valg av armering i et gulv med tykkelse på 200 mm [31].

Armeringsmengde	Minste tverrsnittsareal på armering (mm ²)	Armeringsvalg	Tverrsnittsareal til valgt armering
A _{s,min}	395,2		
2 · A _{s,min}	790,4	Ø12c125	905 mm ²
3 · A _{s,min}	1185,5	Ø12c100	1131 mm ²
4 · A _{s,min}	1580,8	Ø12c70	1583 mm ²

Det vurderes slik at en armeringsmengde på tre ganger minimumsarmeringen (3 x A_{s,min}) er tilstrekkelig. Ford Det gir en nødvedig armeringsmengde på 1185,5 mm², slik at det må

velges armering med diameter lik 12 mm og med senteravstand 100 mm ($\text{Ø}12\text{c}100$) som gir en armeringsmengde lik 1131 mm^2 .

6.5.1.3 Momentkapasitet

Momentkapasiteten beregnes etter bruddlinjeteori i henhold til justerte utledninger av Meyerhof som er oppgitt i Bruddgrensetilstanden. For å kunne beregne momentkapasiteten for enkeltlast, må det først gjennomføres beregninger av gulvets elastiske stivhet, gulvets «elastiske lengde» og a som er avhengig av lastflaten.

For betonggulvet i bygget til Bertel O. Steen vil kun lasttilfellet med punktlast inne på gulvet være aktuelt, i og med at det er gitt opplysning fra Skanska ved Sverre Smeplass om at minste avstanden fra punktlasten til kanten av gulvet er 600 mm, som oppgitt i 6.3.2. Dermed er kravet for å kunne benytte formelen for punktlast inne på gulvet oppfylt. Som nevnt i første avsnitt i Punktlaster bør det ved dimensjonering i plastisk tilstand (bruddgrensetilstand) også utføres beregninger i elastisk tilstand, for å kunne sammenligne og vurdere resultatene av beregningene i bruddgrensetilstand og i bruksgrensetilstanden.

Ved dimensjonering av den nettarmerte gulvløsningen i gulvet til Bertel O. Steen gjennomføres ikke dette, fordi dette gulvet ikke skal detaljprosjekteres i denne rapporten, men kun sammenlignes med andre gulvkonsepter.

Beregning av gulvets elastiske stivhet, D :

$$E = 36\,000 \text{ N/mm}^2 \text{ for B45-betong}$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$\nu = 0,2 \text{ for betong}$$

Dette gir:

$$D = \frac{36\,000 \cdot 200^3}{12 \cdot (1 - 0,2^2)} = 2,5 \cdot 10^{10}$$

Beregning av «Elastisk lengde» for gulvet:

$$D = 2,5 \cdot 10^{10} \text{ N/mm}^2$$

$$k = 0,10 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{fra 5.1.8})$$

$$l_e = \sqrt[4]{\frac{2,5 \cdot 10^{10}}{0,10}} = 707,1 \approx 707 \text{ mm}$$

Avhengig av lastflaten bestemmes a til:

$$a = \sqrt{1,6 \cdot r^2 + t^2} - 0,675 \cdot t \quad \text{for} \quad r < 1,724 \cdot t$$

$$a = r \quad \text{for} \quad r \geq 1,724 \cdot t$$

Beregning av a:

$$r = \sqrt{\frac{300 \cdot 300}{\pi}} = 169,3$$

$$a = \sqrt{1,6 \cdot 169,3^2 + 200^2} - 0,675 \cdot 200 = 158 \quad \text{for} \quad r < 1,724 \cdot t$$

$$169,3 < (1,724 \cdot 200 = 344,8)$$

Dette er ok, og dermed skal a beregnes for $r < 1,724 \cdot t$ slik det er gjort.

Omgjorte Meyerhofs formler for enkeltlaster fra Bruddgrensetilstanden:

Fordi det i prosjektet BOS Berger kun skal være et lag med armering, skal det negative momentet, M_n i Meyerhofs formler utelates i beregningene av moment i denne gulvkonstruksjonen, ifølge Kanstad [30]. Det gir følgende oppsett av beregninger for moment:t4

Beregning av moment for gulvet til Bertel O. Steen med punktlast inne på gulvet:

$$M_p = \frac{270 \cdot 10^3}{\left(6 \cdot \frac{12 \cdot 158}{707}\right)} \cdot 10^{-3} = 16,78 \text{ kNm/m}$$

Beregning av armeringens flytespenning, f_{sd} :

$$f_{sd} = 0,85 \cdot \frac{500}{1,15} = 434 \text{ N/mm}^2$$

Armeringens tverrsnittsareal, A_s :

$$A_s = 1131 \text{ mm}^2$$

Beregning av den plastiske momentkapasiteten:

$$M = 434 \cdot 1131 \cdot 200 \cdot 10^{-6} = 98,17 \text{ kNm/m}$$

Kontroll av gulvets kapasitet for moment:

$$M_p < M$$
$$16,78 < 98,17$$

Dette utgjør 17 % av gulvets totale kapasitet for moment. Kapasiteten for moment er dermed tilstrekkelig.

6.5.1.4 Skjærkapasitet

Skjærkapasiteten for gulvet i prosjektet BOS Berger beregnes etter formler i 5.2.1. Det antas at den jevnt fordelte lasten på gulvet ikke vil gi skjærkrefter i gulvkonstruksjonen, og inkluderes derfor ikke i beregninger for kontroll av skjærkapasitet. Dette fordi belastningen fra denne er liten i forhold til jordtrykket. Videre antas det at punktlast og jevnt fordelt last ikke vil opptre samtidig på et lite område, og dermed gjennomføres det ikke beregninger med denne lastkombinasjonen. Kontroll av skjærkapasiteten skal altså kun gjennomføres ved punktlaster [7].

Skjærkraftkapasiteten skal i henhold til NS-EN 1992-1-1 [14] punkt 6.4.1(4) kontrolleres ved kant av søylen/lastflaten og ved det kritiske kontrollsnittet, u_1 som har en avstand $2d$ fra lastflaten. For belastede flater i nærheten av kant eller hjørne, kan kontrollsnittet, u_1 være kortere enn avstanden fra kontrollsnittet til ytterkanten av en lastflate inne på gulvplaten. Det kan derfor være nødvendig å gjennomføre egne beregninger for kontroll av skjærkraftkapasiteten ved kant og hjørne.

Fordi tilfeller der det er oppgitt at punktlastene skal plasseres minimum 600 mm fra kant av gulvet, vil det kun være behov for å gjennomføre beregninger med formler for punktlast inne på gulvet (innersøyle). Det utelates derfor å beregne for punktlast ved kant og hjørne.

Ved kontroll av kapasiteten til betongplaten inkluderes heller ikke bidrag fra isolasjonen, fordi det antas at det forutsettes at denne kun plasseres langs ytterkant av bygget og 3 m inn på gulvet [8].

Det skal kun gjennomføres kontroll for skjærkapasitet ved punktlaster.

Kontroll for om skjærkapasiteten er tilfredsstillende uten skjærarmering:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$$

$$0,364 \leq 0,7077$$

Skjærkapasiteten er OK, altså ingen gjennomlokking.

Største skjærspenning i kontrollsnitt u_1 , $2d$ fra kanten av den belastede flaten:

$$v_{Ed} = \frac{V_{ED}}{u_1 \cdot d} = \frac{270 \cdot 10^3}{3713,27 \cdot 200} = 0,3636 \text{ N/mm}^2$$

Der lengden av kritisk kontrollsnitt, u_1 for en rektangulært belastet flate er:

$$u_1 = 2 \cdot c_1 + 2 \cdot c_2 + 4 \cdot \pi \cdot d$$

$$u_1 = 2 \cdot 300 + 2 \cdot 300 + 4 \cdot \pi \cdot 200 = 3713,27 \text{ mm}$$

Skjærkraftkapasitet (skjærspenning pr. flateenhet på snittflaten):

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \geq v_{min}$$

der:

$$C_{Rd,c} = \frac{k_2}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{200}} = 2,0 = 2,0 \rightarrow k = 2,0$$

$$\rho_L = (\rho_{L,x} \cdot \rho_{L,y})^{\frac{1}{2}} = (0,00201 \cdot 0,00201)^{\frac{1}{2}} = 0,0057$$

$$\rho_{L,x} = \frac{A_s}{b \cdot d} \leq 0,02$$

$$\rho_{L,x} = \frac{1131}{1000 \cdot 200} = 0,0057 \leq 0,02$$

$$\rho_{L,y} = \frac{A_s}{b \cdot d} \leq 0,02$$

$$\rho_{L,y} = \frac{1131}{1000 \cdot 200} = 0,0057 \leq 0,02$$

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^2 \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 2^2 \cdot 45^{\frac{1}{2}} = 0,664 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd,c} = 0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,0057 \cdot 45)^{\frac{1}{3}} = 0,7077 \geq 0,664 \rightarrow \text{OK}$$

Skjærspenning ved kanten av lastflaten begrenses ved konsentrert last til:

$$u_0 = (2 \cdot c + 2 \cdot c)$$

$$u_0 = 2 \cdot 300 + 2 \cdot 300 = 1200 \text{ mm}$$

$$v_{Ed} = \frac{V_{ED}}{u_0 \cdot d} = \frac{270 \cdot 10^3}{3713,27 \cdot 200} = 0,3636 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd, \max} = 0,5 \cdot b_t \cdot d \cdot v \cdot f_{cd} < 1,6 \cdot v_{Rd,c} \cdot \frac{u_1}{\beta \cdot u_0}$$

Der:

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{45}{250}\right) = 0,492$$

$$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{45}{1,5} = 25,5 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd, \max} = 0,4 \cdot 1000 \cdot 200 \cdot 0,492 \cdot 25,5 \cdot 10^{-6} < 1,6 \cdot 0,7077 \cdot \frac{3713,27}{1 \cdot 1200}$$

$$1,0 < 3,50 \rightarrow V_{Rd, \max} = 1,0$$

Kontroll:

$$V_{Rd,c} < V_{Rd, \max}$$

$$0,7077 < 1,0 \rightarrow \text{Kapasiteten for skjærtrykk er ok.}$$

For å forhindre at riss oppstår, er det veldig viktig at betongen har god strekkfasthet. Dette forutsetter at betonggulvet kan flyte fritt uten å bli fastholdt. Dersom gulvet fastholdes vil det fortsatt kunne oppstå riss, selv om gulvet har veldig høy strekkfasthet [8]. Høy strekkfasthet er spesielt viktig i gulv som blant annet skal tåle stor slitasje og skal belastes av trucker og jekketraller [8].

6.6 Mapei Expancrete

6.6.1 Dimensjonering av gulvkonstruksjonen

I prosjektet til Bertel O. Steen har leverandøren, Mapei AS prosjektert og dimensjonert gulvkonstruksjonen med betonggulvkonseptet Mapei Expancrete. Det er prosjektert med fibertypen DE50/0,75N [7].

Ved bruk av Mapei Expancrete prosjekteres gulvet med gulvtykkelse på 240 mm med 35 kg fiber/m³ eller 230 mm gulvtykkelse med 40 kg fiber/m³ for de ytterste 3 meter der det er isolasjon, mens for resten av gulvet kan det være 200 mm gulvtykkelse med 35 kg fiber/m³ [31]. Ved bruk av Mapei Expancrete kan størrelsen på støpefeltene mellom fuger være 50 x 50 m i dette prosjektet [7].

6.7 Primekss Industrigulv

6.7.1 Hardbetong

I løsningen som Primekss er leverandør av, benyttes et lag med hardbetong. Etter en nærmere vurdering, vurderes det slik at fordi gulvløsningen fra Primekss kan leveres til en pris som er mye lavere enn de andre konseptene, og at hardbetongen ikke vil gi gulvet mye dårligere kvalitet, er det en mulighet for at gulvløsningen fra Primekss kan godtas i det aktuelle prosjektet [7]. NB15 [8] anbefaler at det i stedet for hardbetong at det benyttes M40-betong som overflatebehandles enten med glattskuring eller sliping. Dersom det likevel skal benyttes hardbetong, stilles det krav til at gulvbetongen skal ha tilstrekkelig med overskuddsvann, slik at tørrstoffet har tilgang til vann som det kan reagere med [8].

Det er viktig å være bevisst på at det i dag er vanlig å bruke bindemidler i betong som består av større mengder tilsetningsmaterialer som slagg, flygeaske og silikastøv. Disse bidrar til mindre overskuddsvann som kan gi reaksjonsproblemer for hardbetongens tørrstoff [8].

For konstruksjoner som består av M40-betong, er det ikke nødvendig med hardbetong i overflatesjiktet [8]. Hardbetong kan utelates fordi denne betongen har tilstrekkelig trykkfasthet, har mindre separasjon og lavere uttørkingssvinn enn M60-betong. M40-betong defineres også som selvuttørkende betong, fordi masseforholdet er 0,4. Det er imidlertid krevende å legge ut M40-betong, og det må derfor iverksettes gode herdetiltak for at det ikke skal dannes plastiske svinnriss [8].

6.7.2 Dimensjonering av gulvkonstruksjonen

Dimensjonering av industrigulvet til Bertel O. Steen utføres av Primekss for gulvkonseptet med Primekss Industrigulv, etter bruddlinjeteori. Det aktuelle gulvet har Primekss prosjektert med en tykkelse på 170 mm, betongfasthet C30/37 som tilsvarer betongkvaliteten B30-M60 i henhold til Vedlegg B. Betongen er prosjektert med fibertype HE 75/50, der diameteren til fiberen er 0,75 mm, fiberlengden er 50 mm og strekkfastheten er 1 100 MPa. Betonggulvet er dimensjonert med en fibermengde i betongen lik 40 kg/m³. Nedenfor er det vist hvordan Primekss har dimensjonert gulvet med hensyn til de lastene som er relevant i denne rapporten. En dokumentasjon av dimensjoneringen med flere andre lastkombinasjoner som er utført av Primekss, er vedlagt som Vedlegg B.

Dimensjoneringen av Primekss Industrigulv i henhold til Vedlegg B som er en dokumentasjon av dimensjoneringen:

Følgende sikkerhetsfaktorer er benyttet:

- Egenvekt, betongplate, γ_G : 1,35
- Materialfaktor, γ_C : 1,50
- For reoler, γ_{Q1} : 1,35
- For dynamiske laster, γ_{Q2} : 1,60

Dimensjonering av Beregninger for Primekss Industrigulv:

Karakteristisk strekkfasthet for betong:

- Betongens fasthetsklasse: C30/37 (EN 206)
- Betongens vann/semest-forhold (V/c-tall): < 0,55
- Karakteristisk sylindrestrekkfasthet, f_{ck} : 30 MPa

Dette gir en betong med følgende fasthet: B30-M60

- E-modul for betong, E_{cm} : $E_{cm} = 22 \cdot \left(\frac{f_{ck} + 8}{10}\right)^{0,3}$
 $E_{cm} = 32837 \text{ MPa}$ (tab. 3.1, EN 1992-1-1)
- Midlere strekkfasthet, f_{ctm} : $f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} \leq C50/60$
 $f_{ctm} = 2,90 \text{ MPa}$ (tab. 3.1, EN 1992-1-1)

- Karakteristisk aksialstrekkefasthet, $f_{ctk,0,05}$: $f_{ctk,0,05} = 0,7 \cdot f_{ctm}$ (tab. 3.1, EN 1992-1-1)

$$f_{ctk,0,05} = 2,03 \text{ MPa}$$

- bøyestrekkefasthet, $f_{ctk,fl}$: $f_{ctk,fl} = \left(1 + \left(\frac{200}{h}\right)^{0,5}\right) \cdot f_{ctk,0,05} \leq 2 \cdot f_{ctk,0,05}$

$$f_{ctk,fl} = 4,06 \text{ N/mm}^2$$

Fiberarmering:

- Fibertype: HE 75/50
- Fiberdiameter: 0,75 mm
- Fiberlengde: 50 mm
- Materialsikkerhetsfaktor for fiberarmering: 1,0
- Strekkfasthet til fiber: 1100 MPa
- Fiberdoseringsforhold: 40 kg/m³

Gulvdata:

- Gulvplatetykkelse: 170 mm
- Plassering av gulvplaten: Innendørs
- Vekt av gulvplaten, $G_{k,slab}$: 4,1 kN/m²
- Poisson's-forhold for gulvplaten, ν : 0,15

Momenter for bruddlinjeteori:

- Plastisk strekkspenning, σ_{pl} : 2,70 N/mm²
Denne er observert i fullskala platetest.
- Dimensjonerende moment, M_{Rd} : $M_{Rd} = 0,45 \cdot \sigma_{pl} \cdot \frac{h^2}{\gamma_c}$
 $M_{Rd} = 23,4 \text{ kNm/m}$

Lastdata:

Reollast:

- Last fra et enkelt reolbein, P_k : 180 kN

- Lastflate (bredde x lengde): 150 x 150 mm
- Kontaktspenning: 8,00 N/mm²
- For en situasjon der to reolrader står med baksiden mot hverandre, vil det være to reolbein like ved hverandre. Dette gir en lastsituasjon med punktlaster fra to reolbein like ved hverandre.
- For denne situasjonen gir det følgende totallast: 2 · 180 kN = 360 kN
- Avstand mellom punktlaster, z: 350 mm

Jevnt fordelt last (UDL):

- UDL $Q_{k,udl}$: 30 kN/m²

I Vedlegg B som er utarbeidet av Primekss, inkluderes også linjelast, hjullast, trucklast i dimensjoneringen. Det er bestemt at disse lastene ikke skal inkluderes i dimensjoneringen av gulvet i denne rapporten. I tillegg oppgis det i Vedlegg B lasttilfeller som hjullast og linjelast, som heller ikke skal inkluderes i dimensjoneringen i denne rapporten.

Jorddata:

- Stivhetsforholdet til grunnen, k er konstant
 - $EV2 = 100 \text{ MPa}$
 - $EV2/EV1 = 2,2$
- Resulterende stivhetsforhold til grunnen, k_{sub} : 0,083 N/mm²

Isolasjon:

- Subgrade reaction k-verdi av isolasjon, k_{ins} : $k_{ins} = \frac{E_{ins}}{h_{ins}}$

Det skal ikke legges isolasjon under betonggulvet for denne gulvløsningen.

- Resulterende subgrade reaction til systemet, k_{res} : $k_{res} = k_{sub} \cdot \frac{k_{ins}}{k_{sub} + k_{ins}}$
 $k_{res} = 0,083 \text{ N/mm}^2$

Stivhet:

- Radius til den relativ stivheten til betonggulvplaten, I_r :

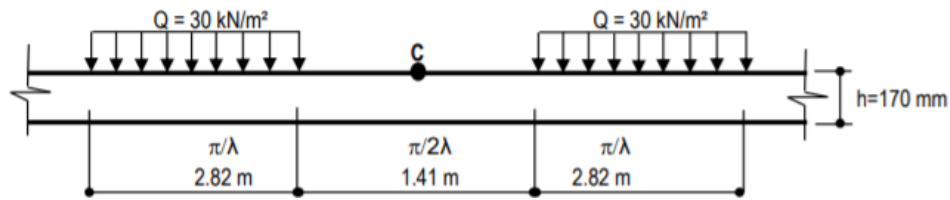
$$I_r = \left(E_{cm} \cdot \frac{h^3}{12 \cdot (1-\nu^2)} \cdot k_{res} \right)^{0,25} = 639 \text{ mm}$$

Lasttilfellet «Punktlast»:

- Ekvivalent radius til kontaktflaten til lasten, a_r : 84,6 mm
- Dimensjonerende Ultimate last, P_d : $P_d = \gamma_{Q1} \cdot P_k$
 $P_d = 243,00 \text{ kN}$
- Kontroll av bruddlast dersom $\frac{a_r}{l_r} = 0$: 147,08 kN
- Kontroll av bruddlast dersom $\frac{a_r}{l_r} > 0$: 307,76 kN
- Kontroll av bruddlast P_{Rd} for $\frac{a_r}{l_r} = 0,13$: 253,53 kN
- Kontroll av dimensjoneringen $P_d < P_{Rd}$
 $243,00 < 253,53$
→ Kontrollen er OK.

Lasttilfellet «Jevnt fordelt last»:

- Moment når det første risset dannes, M : $M = (f_{ctk,fl} + 1,2) \cdot \frac{h^2}{6}$
 $M = 25,3 \text{ kNm/m}^2$
- Kritisk bredde, λ : $\lambda = \left(3 \cdot \frac{k_{res}}{E_{cm}} \cdot h^3\right)^{0,25}$
 $\lambda = 1,11 \text{ m}$
- Resulterende moment, M_c for en kritisk bredde $\frac{\pi}{2 \cdot \lambda}$:
 $M_c = 0,168 \cdot (Q_{k,UDL} + G_{k,plate}) \cdot E_{cm} \cdot \frac{h^3}{3} \cdot k_{res}$
 $M_c = 4,62 \text{ N/mm}^2$
- Tilhørende spenning, σ : $\sigma = \frac{6 \cdot M_c}{h^2}$
 $\sigma = 0,96 \text{ N/mm}^2$
- Lastkapasiteten pr. enhetsareal, Q_{Rd} : $Q_{Rd} = 5,95 \cdot \lambda^2 \cdot M$
 $Q_{Rd} = 186,7 \text{ kN/m}^2$
- Kontroll av kapasiteten: $Q_k < Q_{Rd}$
 $30 < 186,7$
→ Kapasiteten er OK.



Figur 27: Lastfordeling av den jevnt fordelte lasten på gulvet [Vedlegg B].

Resultat av dimensjoneringen:

- **Betong:** C30/37
- **Fibertype:** HE 75/50
- **Fiberdoseringsforhold:** 40 kg/m³
- **Gulvplatetykkelse, h:** 170 mm
- **Avstand mellom fuger:** ∞ → Ingen fuger for denne gulvløsningen.

6.8 Etterspent gulv

I industrigulvet til Bertel O. Steen benyttes et etterspent gulv som dimensjoneres av Thilt Engineering. Tap av tøyingsdifferanse vil være veldig aktuelt i prosjektet til Bertel O. Steen, fordi dette gjelder spesielt for etterspente konstruksjoner og for uinjisert spennarmering som benyttes i det aktuelle gulvet [10].

6.8.1 Til dimensjonering av gulvkonstruksjonen

I prosjektet BOS Berger velges fasthetsklasse B35 for gulvkonseptet med etteroppspent betong [37].

Dimensjonerende verdi for stålspenning er:

$$f_{pd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma_s}$$

Der:

$$\text{Karakteristisk fasthet: } f_{p0,1k} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

$$f_{p0,1k} = \frac{500}{1,15} = 434 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Sikkerhetsfaktor: } \gamma_s = 1,15$$

Dimensjonerende betongtrykkfasthet:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

Faktorene α_{cc} og α_{ct} settes lik 0,85 (punkt NA.3.1.6 i NS-EN 1992-1-1 [14]).

$$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{35}{1,5} = 19,8 \text{ N/mm}^2$$

Elastisitetsmodul for spenntråd og spennstenger: $E_p = 2,05 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$

Elastisitetsmodul for spenntau: $E_p = 1,95 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$

7 Utførelse av gulvkonseptene

I dette kapitlet omtales forhold under utførelsen av store industrigulv, samt en beskrivelse av utførelsen for de fire alternative gulvkonseptene for industrigulvet til Bertel O. Steen på Berger. Oppbygging og utlegging av masser i grunnen omtales ikke i dette kapitlet, fordi grunnarbeidet vil være det samme for alle gulvkonseptene, og i det aktuelle prosjektet er ikke dette arbeidet gitt til entreprenøren som har i oppdrag å bygge logistikklageret. Ved å beskrive utførelsen av industrigulv, vil en få avklart og beskrevet forhold og rutiner som skal til, for å oppnå en gulvstøp med et vellykket sluttresultat og samtidig en effektiv utførelse.

Til det aktuelle industrigulvet er det valgt å proporsjonere betongen med en ordinær materialsammensetning, men med grovt tilslag med steinstørrelser på 22 mm og med en forholdsvis stor steinandel [7]. Dette for å begrense sementforbruket og dermed svinn.

7.1 Planlegging av utførelsen

Under planleggingen av utførelsen skal det undersøkes om det er gitt tillatelse for tiltaket fra kommunen, og om arbeidstilsynet har gitt tillatelse til at arbeidet kan igangsettes. Dette må være på plass før oppstart av utførelsen.

Videre bør det kartlegges hvilke ressurser en har til rådighet, både når det gjelder mannskap og utstyr. Når dette er fastlagt, kan det utarbeides en framdriftsplan som skal følges i utførelsesfasen, og skal oppdateres jevnlig under arbeidet med gulvet.

Før igangsetting av arbeidet skal det også være utarbeidet en SHA-plan for det spesifikke prosjektet. Denne er byggherren ansvarlig for. I arbeidet med denne skal alle risikoforholdene i forbindelse med arbeidet vurderes, og det skal eventuelt utarbeides en beskrivelse av tiltak for de ulike arbeidsoperasjonene for å redusere risikoforholdene knyttet til disse. Dette for å unngå ulykker og uønskede hendelser i forbindelse med arbeidet på byggeplassen.

Det er spesielt viktig å sørge for at arbeidet utføres i henhold til produksjonsunderlag som for eksempel tegninger fra de rådgivende ingeniørene som har prosjektert gulvet. Det er viktig at utført arbeid dokumenteres og at det leveres produktdokumentasjon for de produktene som benyttes i prosjektet.

For betongkonstruksjoner fastsettes fasthets- og bestandighetsklasse av rådgivende ingeniører, mens andre detaljer når det gjelder materialsammensetning og utførelse bestemmes ofte av betongprodusenten og entreprenøren, såfremt kravene i standardene NS-EN 206 [9] og NS-EN 13670 [15] tilfredsstilles [1].

Det aktuelle betonggulvet skal utføres i henhold til utførelsesklasse 2 i NS-EN 13670 [15].

I tillegg til selve støpearbeidet er det også mange andre arbeidsoperasjoner. I henhold til [8] er de aktuelle arbeidsoperasjonene oppbygg av bærelag, kontroll av høyder, eventuell isolering i grunnen, forskaling, eventuell radonsperre, fuktsperre, armering, kontroll av overdekning, avisolering mot fastholdning, etablering av fuger, herdetiltak og kontroll av toleranse på ferdig gulv.

For å oppnå ønsket overflatekvalitet med minst mulig riss, er det viktig å planlegge utførelsen og framdriften godt [8]. På den måten kan en få optimale forhold når gulvet skal støpes. Det anbefales at gulv med strenge krav til overflatekvalitet, støpes og herdes under kontrollerte forhold.

Ved bestilling av betong, er det viktig å sørge for at betongen som bestilles har riktige egenskaper og kvalitet for den aktuelle bruken, som i dette tilfellet er industrigulv [41]. I planleggingen av støpearbeidet skal det derfor gjennomføres et oppstartsmøte med involverte parter (entreprenør, betongleverandør, eventuelt også de rådgivende ingeniørene som har prosjektert gulvet og byggherren) [7]. I dette møtet gjennomgås behov og ønsker, og det settes opp en reseptliste for prosjektet som inkluderer nødvendig informasjon om betongen. All betong som bestilles skal være i henhold til denne listen. Dette bidrar til at tilfeldige feil i bestilling og leveranse unngås.

Utstøpingen av betongen skal gjennomføres i henhold til en skriftlig støpeplan som utarbeides av hovedentreprenør eller eventuelle underentreprenører i planleggingen av utførelsen [8]. Støpeplanen skal utarbeides i henhold til punkt NA.8.2 i NS-EN 13670 [15]. Den skal fastsettes med bakgrunn i krav fra byggherren, praktisk gjennomføringsevne og fugeinndeling.

Nedenfor er en oversikt over hva støpeplanen bør inneholde for utførelsen, i henhold til NS-EN 13670 [15], [1]:

- En detaljert beskrivelse av utførelsen:
 - Mottakskontroll
 - Støpemetode, med eventuelle støpehastigheter, lagtykkelser, komprimering
 - Rekkefølge for utlegging av betongen
 - Leveringstakt på betongen i kubikkmeter pr. time
 - Forventet støpetid
 - Betongens konsistens samt temperatur, eventuelt luftinnhold og andre spesielle krav
- Beskrivelse av herdetiltak
 - Tiltak under utførelse av støpen
 - Tiltak etter støp
- Beskrivelse av bemanning:
 - Produksjonsledelse
 - Antall medarbeidere på arbeidslag
 - Formann/bas-funksjonen
- Beskrivelse av utstyr:
 - Pumpe/dumperbil
 - Strøm
 - Antall vibratører og størrelse på disse
 - Avrettingsutstyr
 - Utstyr for herdetiltak
 - Utstyr for å håndtere uforutsette hendelser og reserveutstyr
- Beskrivelse av risikovurdering:
 - Kritiske prosesser
 - Hva kan gå galt?
 - Hva kan gjøres hvis noe går galt?

For å oppnå en betong med minst mulig riss og svinn, må sammensetningen av betongen vurderes nøye, før den endelig fastsettes [8]. Ved valg av betongtype vil følgende forhold være avgjørende: Støpelighet, fasthetsklasse, masseforhold, eksponeringsklasse og bestandighetsklasse.

Ved støping av større gulv som industrigulv, kan ikke hele gulvet støpes i en sammenhengende operasjon, men må støpes over flere dager [8] Gulvet må derfor støpes i

dagsetapper. Forhold som er av betydning for gjennomføring av hver støpeetappe, er bemanning, støpeutstyr, omgivelsene rundt gulvet, sammensetning til betongen, støpeteknikk og overflatekrav.

Det er viktig å planlegge støpingen slik at manuelle arbeidsoperasjoner kan unngås i størst mulig grad [8]. Videre må transport av betongen planlegges, slik at separasjon av betongen forhindres.

Det må gjøres et valg for hvordan betongen skal transporteres. For de tre konseptene som leveres av firmaer som opererer fra Norge, kan betongen transporteres på byggeplassen med betongbil med pumpe og utleggstårn da det er høyt under taket, samt med rør og slanger som skjøtes på for å øke rekkevidden [8].

Valg av metode for avtrekking av betongen gjennomføres med hensyn til utførelseskrav, gulvstørrelse, bemanningssituasjon, hvilket utstyr som er tilgjengelig og hvilken avtrekkingsmetode som en mestrer [8].

Værforhold som temperatur, luftfuktighet, vind, direkte solskinn og nedbør er avgjørende for å oppnå et godt støperesultat, og støpearbeidet må planlegges for disse [8]. Når det gjelder industrigulv støpes disse normalt inne i en bygning, og da vil værforholdene ha minimal innvirkning på støpearbeidet, og utelukkes i denne rapporten.

7.2 Tradisjonelt nettarmert gulv

Før igangsetting av støpearbeidet skal det kontrolleres at bærelaget under, er godt komprimert og planert i henhold til toleransekravene oppgitt i Bærelag [8]. For å tilfredsstille toleransekravene, bør det benyttes en planlaser til å sette ut høyden til underlaget. I ytterkanten av gulvet mot ytterveggene og tre meter inn på gulvet skal det legges ut trykkfast isolasjon av typen ekspandert polystyren. Fingrusen må derfor planeres i to forskjellige høyder, på et nivå der det skal legges isolasjon og på et høyere nivå inne på gulvet, for å få plass til isolasjonen. Når isolasjonen er lagt ut, må det fylles på med fingrus inntil isolasjonen, og komprimere denne. Det skal hele tiden sørges for at området der arbeidet skal utføres, holdes ryddig.

Dersom det skal legges radonduk i gulvløsningen med tradisjonell nettarmering, kan denne legges ut oppå fingrusen og isolasjonen. Radonsperre skal ikke legges under industrigulvet i

BOS Berger-prosjektet, fordi radonproblematikken skal i dette prosjektet løses med ventilasjon [7].

Oppå dette legges ett lag 0,2 mm plastfolie som glidesjikt i henhold til Flytende gulv. I tillegg skal det festes 20 mm skumplast rundt sluk, ved søyler og andre fastholdningspunkter, i henhold til Flytende gulv. Dette skal utføres for at fastholdning av gulvet skal forhindres.

Før eller samtidig med utlegging av armeringen, skal støpesteng og fugeprofiler monteres og utplasseres. Det er viktig å påse at overkanten av fugeprofilene flukter jevnt med ferdig gulvoverflate, for at det ikke skal føre til problemer ved pussing og glatting av betongen og i bruksfasen (se 5.1.12). Støpestenet skal fungere som forskaling for å oppnå en pen støpeskjøt i overgangen fra én dagsetappestøp til neste dagsetappestøp. Støpesteng skal også benyttes ved åpninger i ytterveggene ved bakkenivå. Oppgaven til støpestenet er å holde den ferske betongen på plass til den har herdet tilstrekkelig slik at den kan holde formen, uten å måtte støttes opp [1]. Støpestenet må være tilstrekkelig tett, stivt og sterkt for at betongen skal holdes på plass.

Før støping skal det legges ut nettarmoring og ekstra armering ved utstøping, sluk og innvendige hjørner, se 5.1.9. Monteringen av armeringen skal utføres i samsvar med NS-EN 13670 [15], og armeringen skal være i henhold til kravene i NS 3576 [42]. I gulvet til Bertel O. Steen skal det benyttes armeringsmatter som kan legges ut forholdsvis raskt, men oppklossing av disse med armeringsstoler for å oppnå ønsket overdekning, er mer tidkrevende. Armeringsmattene skal legges ut med overlapping for å oppnå kontinuerlig armeringen over hele gulvet.

Støpingen av gulvet skal utføres i henhold til en støpeplan som skal utarbeides i planleggingsfasen av støpearbeidet, se 7.1. Det er viktig å ta imot betongen på riktig måte når den ankommer byggeplassen. Før oppstart anbefales det at synk og utbredelse måles, og dersom betongens karakter endres [8].

Betongarbeidet skal utføres i samsvar med NS-EN 13670 [15], og det skal dermed gjennomføres en mottakskontroll av betongen [1]. Det første som må gjøres, er å kontrollere at følgeseddelen stemmer i forhold til leveringsstedet til den bestilte betongen, for å sikre riktig betongkvalitet og -egenskaper i forhold til det som er bestilt [41]. Etter denne kontrollen skal følgeseddelen signeres av entreprenøren, slik Figur 28 viser [1]. Denne skal tas vare på som en del av dokumentasjonen. Før utstøping igangsettes skal hastigheten på trommelen til

betongbilen økes for at betongen skal blandes godt. Videre skal betongen kontrolleres visuelt før oppstart av utstøpingen [41].



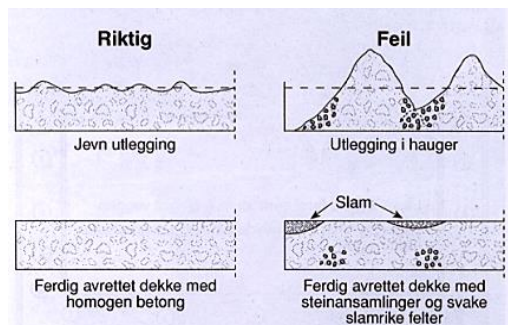
Figur 28: Signering av kontrollseddel fra betongleverandør [1].

For dette konseptet proporsjoneres betongen med en ordinær materialsammensetning, men med grovt tilslag med størrelser på 22 mm og en forholdsvis stor steinandel for å begrense sementforbruket og dermed svinnet [7]. Dette for å begrense sementforbruket og dermed svinnet.

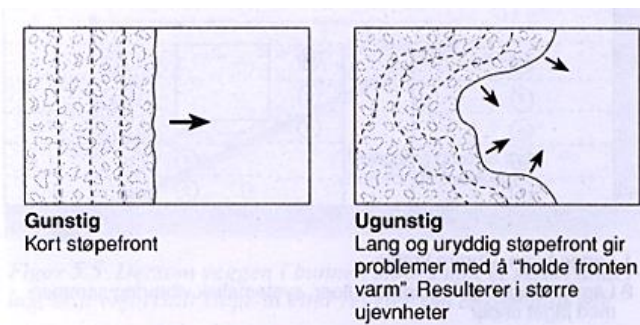
Ved utførelse av betongarbeidet i industrigulvet som er i utførelsesklasse 2, skal produksjonslederen ha det øverste faglige tilsynet, og skal ha kompetansebevis i klasse UPK2 i henhold til Betongopplæringsrådets kompetansesystem [1], [43].

For å oppnå en enklest mulig utlegging av betongen, bør betongen proporsjoneres slik at det oppnås god støpelighet [1]. Støpeligheten bestemmes av den ferske betongens stabilitet, mobilitet og komprimerbarhet. Stabiliteten er ifølge [1] det at betongen kan være homogen i hele den ferske fasen, slik at separasjon av betongen unngås. Mobiliteten beskriver hvilken bevegelseevne betongen har ved ytre påkjenning. Denne er avhengig av flytmotstanden til matriksen, som er det frie vannet, tilsetningsstoffene og alle de faste materialene med en partikkelstørrelse mindre enn $0,125 \text{ mm}^2$ [1]. Mobiliteten er også avhengig av betongens matriksoverskudd og friksjon og eventuelle blokkeringer i partikkelfasen. Partikkelfasen er betongens tilslag som er større enn $0,125 \text{ mm}^2$ og som dermed ikke er i matriksfasen [1].

I det aktuelle prosjektet skal betongen transporteres med pumpe. Ved pumping av betongen skal det benyttes slange- og rørdimensjon større enn tre ganger diameteren til det største tilslagskornet i betongen ($3 \times D_{\max}$) [1]. Dette for at det ikke skal oppstå propp, som vil si at betongen stopper opp i slangen. Risikoen for propp kan reduseres ved å benytte stålrør istedenfor slangeutlegg, fordi friksjonen i rør er omtrentlig tre ganger mindre enn i slanger.



Figur 29: Prinsipp for riktig og feil utlegging av betongen [1].



Figur 29: Prinsipp for gunstig og ugunstig støpefront [1].

Betongen skal legges ut mest mulig kontinuerlig med en tykkelse som er nærmest mulig riktig tykkelse, og på rett plass slik at horisontal transport av betongen unngås [8]. Riktig og feil utlegging av betong er vist i Figur . I tillegg skal betongen legges ut med kortest mulig støpefront [1]. Figur 29 viser henholdsvis gunstig og ugunstig støpefront.

Etter at betongen er lagt ut, skal det ikke tråkkes i betongen, på grunn av at den da vil kunne separeres [8]. Dette må også tas hensyn til i planleggingsfasen. I blandedprosessen må det etterstrebtes lik konsistens på betongen i hele gulvet, for å få samme variasjon av tilslagsstørrelsen i hele gulvet [8]. Dette er avgjørende for at det oppnås et uttrykk i overflaten som er likt over hele gulvet.

I det aktuelle prosjektet velges det å støpe hele gulvverrsnittet i en omgang uten oppdeling i støpelag, etter å ha gjort en vurdering av risikoen for plastiske setningsriss som kan oppstå når betongen setter seg [8]. Dette er spesielt viktig å ta hensyn til ved støping av høye betongverrsnitt, fordi det der er større risiko for å få større plastiske setningsriss.

Etter selve utleggingen av betongen skal denne avtrekkes. I følge [8] vil det si å plassere betongen, avrette i rett høyde og komprimere. Avtrekkingen skal utføres før fritt vann stiger til overflaten. Nøyaktig avtrekkingen er spesielt viktig for å oppnå et sluttresultat som er innenfor de fastsatte toleransekravene til overflateplanheten [8]. Det er viktig at avsatt høyde kontrolleres.

Til avtrekking av betongen finnes en del utstyr å velge mellom, både kostbart og mindre kostbart. I det enkelte prosjektet velges dette med grunnlag i krav til overflatetoleranse, overflatetype og betongsammensetning, slik at ønsket sluttresultat kan oppnås [25].

Avtrekking ved dissing med laser, flytavretter og dissestav, er en metode for avtrekking som kan benyttes [8]. Denne metoden krever imidlertid en riktig sammensatt flytbetong. I denne

metoden benyttes laser og planering med flytavretter til utlegging og avtrekking. Til vibrering av betongoverflaten, utføres dissing med dissestav, slik det er vist i Figur 30 [44]. Dissing av betongen gir en slettere og penere overflate som gir et godt utgangspunkt for videre behandling av overflaten.



Figur 30: Avretting av betonggulv med dissestav og påføring av herdemembran [8].

Dette er en effektiv metode i kombinasjon med pumping av betongen, og er derfor en mye brukt metode i Norge [8]. Det kan ved bruk av denne metoden utføres store dagsetapper, samtidig som toleransekravene oppfylles. Det forutsettes at arbeidet utføres av erfarne fagfolk. Et resultat av dissing av en betongoverflate er vist i Figur 31.



Figur 31: Dissing av betong [44].

For gulvtykkelser over 150 mm er det ikke tilstrekkelig kun å disse betongen for å få vibrert all betongen i tverrsnittet, men det må også benyttes en stavvibrator for å få vibrert betongen nederst i tverrsnittet [7]. For gulvkonstruksjoner med store tykkelser må metoden med dissing kombineres med bruk av stavvibrator. Det er viktig at stavvibratoren stikkes loddrett ned i betongen for at separasjon av betongen skal unngås [1].

Avtrekking med motorisert avretter er en produktiv metode som er et godt alternativ [8].

Denne metoden er lik metoden med bruk av laser, flytavretter og dissestav som er en manuell

avretter. Det er en fordel å benytte denne metoden i situasjoner der det legges ut en stiv betong og der overflaten har fall [8].

Avtrekking med vibrobrygge er en annen effektiv metode for avretting [25]. Det kan benyttes vibrobrygge med enkel- eller dobbelbjelke. Disse føres framover over betongen med en hastighet på ca. 0,3 meter pr. min [25].

Til avtrekking av betongen i gulv med tradisjonelt nettarmert konseptet anbefales det ikke å benytte balansert avtrekker på hjul, fordi en kan risikere at armeringen presses ned slik at overdekningen økes på grunn av at det tunge utstyret [7].

Til avtrekking av industrigulv med tradisjonell nettarmert i prosjektet til Bertel O. Steen er det mest aktuelt å benytte metoden avretting med dissestav [7]. Ved å avtrekke betongen ved dissing, må det i tillegg vibreres med en stavvibrator fordi det ikke vil oppnås en tilstrekkelig vibrering av betongen ved kun dissing, fordi gulvtykkelsen er over 150 mm.

Det er viktig at det oppnås god kvalitet på utførelsen av utstøpingen, fordi denne er svært viktig for sluttresultatet [8].

7.3 Mapei Expancrete

Mapei Expancrete skal utføres med fiberarmering og svinnkompensert betong. For dette konseptet skal de ekspanderende og svinnreducerende tilsetningsstoffene som må tilsettes betongen for å oppnå en svinnkompensert betong, samt fiberarmeringen, blandes inn i betongen på blandeverket [7].

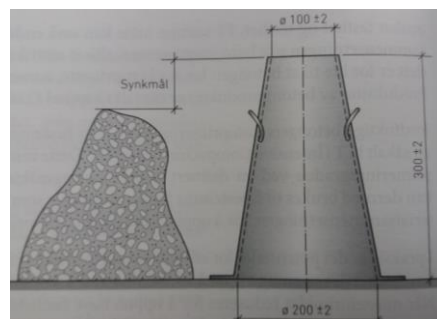
Dette konseptet skal utføres i samsvar med NS-EN 13670 [15]. Før igangsetting av selve støpearbeidet må underlaget kontrolleres, slik som det beskrives i 7.2. Også i dette konseptet skal det legges ut trykkfast isolasjon i grunnen ved ytterveggene med bredde på 3 m. For mer detaljert beskrivelse se 7.2.

Det skal ikke legges ut plast mellom bærelaget og betonggulvet, på grunn av at den svinnkompenserte betongen vil kunne forhindre riss som dannes ved eventuell fastholdning mot underlaget [7]. Fugeprofiler og støpesteng monteres og plasseres riktig, slik som beskrevet i 7.2. Ved fastholdningspunkter som sluk, innvendige hjørner og utsparinger skal det legges ut armering for at det skal unngås riss i disse områdene, se 5.1.9.

Da det ikke benyttes nettarmering og plastfolie, kan betongbilen kjøre inn på området der det skal støpes. Ved betongens ankomst på byggeplassen skal det gjennomføres en mottakskontroll av samme type som i 7.2. Videre skal støpearbeidet følge støpeplanen som utarbeides i planleggingsfasen av utførelsen, som vist i 7.1. Til transport av betongen fra betongbilen til endelig plassering av betongen er det opplyst fra Mapei at betongen skal pumpes gjennom slanger [7]. Utførelsen av selve støpingen skal gjennomføres på akkurat samme måte som er beskrevet for det tradisjonelt nettarmerte konseptet, se 7.2.

I forbindelse med støping av dette gulvkonseptet som er fiberarmert, skal det støpes med selvkomprimerende betong (SKB), se Fiberarmerte svinnkompenserte gulv for begrunnelse. Siden SKB er svært tynnflytende (lav flyteskjærspenning), må støpestengene være helt tett og stive nok for at betongen ikke skal renne ut [1]. Dette skyldes effekten av at denne betongen består av en stor matriksfase og av superplastifiserende tilsetningsstoffer.

Ved støping med SKB er det spesielt viktig med godt samarbeid mellom betongprodusent og entreprenør [1]. Selvkomprimerende betong har synkmål større enn 250 mm, slik at den må ha et stort matriksvolum som vanligvis er over 340 l/m^3 , for å kunne oppnå et synkmål med den størrelsen [1]. En slik betong har dermed en matriksfase som er stor og forholdsvis viskøs, slik at kontakten mellom partiklene har minimal betydning. SKB beskrives bedre ved å måle betongens synkutbredelse (SU), istedenfor å måle synkmålet. Synkmålet er hvor mye betongen synker når en synkkjegle som er lagvis fylt opp med betong som komprimeres, løftes opp slik at betongen kan få bre seg fritt utover. Synkmålet måles ved at synkkjeglen plasseres ved siden av betongen, og høyden fra toppen av kjeglen til betongens høyeste punkt måles, se Figur 1. Synkutbredelsen er diameteren på utbredelsen av betongen etter at synkkjeglen løftes opp og betongen brer seg utover, se Figur 33 [1].



Figur 32: Synkmål [1].



Figur 33: Synkutbredelse (SU) [1]

For å begrense svinn i denne betongen må sementforbruket begrenses. Det gjøres her ved at det benyttes steinstørrelser på 22 mm og en forholdsvis stor steinandel [7]. Fordi det benyttes SKB vil støpeligheten være god. Vibrering av betongen skal ikke utføres, da det benyttes SKB som ikke skal vibreres [8].

Til avtrekking av betongen kan det benyttes balansert laserstyrt avtrekker på hjul, se Figur 34 [8]. Dette er en nøyaktig og veldig effektiv metode. Ved bruk av denne metoden kan det oppnås et bedre arbeidsmiljø, ved at tunge arbeidsoperasjoner kan unngås. For dette konseptet er det ikke nettarmering, og dermed er det ikke fare for at armering vil presses ned av dette tunge utstyret i forbindelse med avrettingen av betongen.



Figur 34: Avtrekking av betong med balansert laserstyrt avtrekker på hjul [8].

For å oppnå maksimal ekspansjon av betongen ved bruk av tilsetningsstoffene som tilsettes betongen, må betongen være i et svært fuktig miljø [34]. Det anbefales derfor at det gjennomføres herdetiltak med fibermatter og vanning for dette konseptet over en periode på 14 dager.

7.4 Primekss Industrigulv

For Primekss-konseptet er det heller ikke aktuelt med verken radonduk eller plastfolie på bærelaget, som følge av at det skal kjøres med tunge maskiner oppå bærelaget [7]. Dette er ingen problem da dette konseptet inneholder svinnkompensert betong, som nevnt i 5.3.6.

For at det skal være mulig å kjøre inn på underlaget til betonggulvet med betongbil, dumperbil, kjøretøy som avtrekker betongen og kjøretøy som strør ut tørrstoff til hardbetong, kan det heller ikke legges ut isolasjon eller armering der disse kjøretøyene skal kjøre [7]. Ved fastholdningspunkter som sluk, innvendige hjørner og utsparinger skal det legges ut armering av samme årsak som for de andre gulvkonseptene, se 5.1.9 for detaljert informasjon om dette.

Det må også for dette konseptet monteres fuger og støpesteng før betongen støpes ut, der disse er planlagt. Også for utførelsen av dette konseptet er det veldig viktig at fugene plasseres slik at overkanten av fugene flukter jevnt med den ferdige gulvoverflaten, se 7.2.

Etter at betongen er transportert med betongbil fra blandeverket til byggeplassen og før betongen utstøpes, blandes fiberarmeringen inn i betongen [45]. Dette utføres mens betongen fortsatt er i trommelen på betongbilen. Før utstøpingen kan igangsettes, må fibre blandes godt inn i betongen ved at trommelen kjøres noen ekstra runder.

Utførelsen av betongarbeidet skal også for dette konseptet være i samsvar med NS-EN 13670 [15], for å sikre en bestandig og sterk betong [1]. Som nevnt i 7.1 stilles det krav i NS-EN 13670 [15] til at det foreligger en skriftlig støpeplan for støparbeidet kan utføres.

Utsøpingen utføres med maskinelt utstyr, der dumperbiler med svingbare rør med diameter lik 300-500 mm legger ut betongen, og der avtrekkingen av betongen utføres med store avrettingsmaskiner [36]. Under utførelsen av utstøpingen fylles betongen over i dumperbiler som kjører og legger ut betongen på riktig sted, se Figur 35. Det er også i dette konseptet av betydning hvordan utleggingen gjennomføres. Det anbefales at betongen legges ut på mest mulig endelig plassering og med kortest mulig støpefront, se 7.2.



Figur 35: Utlegging av betong med dumperbil [45].

Etter utlegging av betongen, avtrekkes betongen ved bruk av en stor maskin på hjul som har en bom med en laserstyrt avretter på enden, se Figur 36 [46]. Denne typen laserstyrt maskin er nøyaktig og veldig effektiv ved at store flater kan avtrekkes på relativt kort tid [8]. Utstyret som benyttes til dette er store og tunge maskiner. Ved bruk av denne metoden kan det oppnås et bedre arbeidsmiljø for arbeiderne ved at tunge arbeidsoperasjoner kan unngås. Metoden egner seg godt for fiberarmerte gulv, der det ikke legges ut nettarmoring i tillegg. En stor ulempe ved denne metoden er at utstyret og maskinene som benyttes er dyre og lite fleksible.



Figur 36: Avretting av betongen pågår nærmest, og strøing av tørrstoff til hardbetongen pågår lengst bak [46].

For at tørrstøvet i hardbetongen skal oppnå full reaksjon med vann, må hardbetongen strøs på tidligst mulig, og før betongen har herdet så mye at det er mulig å gå oppå denne [8]. Den beste metoden for utlegging av hardbetong er å strø ut hardbetong i fersk betong med bruk av bomutlegger [8]. Ved å strø hardbetong utover med maskin umiddelbart etter utlegging av

betongen, kan denne pusses inn som en del av betongen [1]. Dette gir redusert risiko for bom under hardbetongen. Det skal også utføres overflatebehandling, men det beskrives ikke i dette kapitlet.

7.5 Etteroppspent betonggulv

Ved utførelse av etteroppspent betonggulv er det viktig å planlegge utførelsen godt på forhånd før oppstart av arbeidet på byggeplassen. For alle konstruksjoner med spennarmering gjelder utførelsesklasse 3, ifølge NS-EN 13670 [15]. Dette innebærer at arbeidet med utlegging og oppspenning av spennarmering skal ledes av personer med kompetansebevis i klasse UPK3+S i henhold til Betongopplæringsrådets kompetansesystem Betongopplæringsrådet, 2015 #61]

Til utførelsen av etterspente gulv er det behov for en del spesialutstyr for å spenne opp spennkablene. Dette utstyret er hydraulisk oppspenningsjekk, hydraulisk pumpe, kraftmåler, manometer (oljetrykksmåler), festeanordninger mellom kabel og jekk, og «flagg» [20]. «Flagg» er en forlengelsesmåler montert på spenntau for å måle forlengelsen på spennkabelen manuelt.

I prosjektet BOS Berger skal det benyttes uninjisert spennarmering som er den vanligste typen spennarmering for etterspente gulvkonstruksjoner (se 5.4). Ved bruk av denne typen spennarmering vil varigheten på utførelsen av denne betongkonstruksjonen være mindre enn for en betongkonstruksjon med injisert spennarmering [10]. Dette fordi spennarmeringen leveres fra fabrikk ferdig trukket gjennom plastrør og fettinjisert, og fordi det ikke må brukes tid på trekking av spennarmeringen og på injiseringsarbeid.

Før utstøpingen av konstruksjonen utføres, skal det gjennomføres en kontroll av alle spennarmeringskomponentene og monteringen av disse før de blir innstøpt [20]. Dette fordi det er mye enklere å utbedre feil og skifte ut komponenter før de støpes inn.

I henhold til NS- EN 13670 [15] punkt NA.8.2 skal det utarbeides en skriftlig støpeplan som også skal inneholde beskrivelser av hvordan utstøpingen ved spennarmeringskomponentene skal utføres [20]

Det skal kontrolleres at underlaget av fingerus er godt komprimert og at det er fint planert (se Tradisjonelt nettarmert gulv7.2). I ytterkanten av gulvet mot ytterveggene og tre meter inn på gulvet skal det legges ut trykkfast isolasjon. Det skal sørges for at området der det skal

armeres og støpes holdes ryddig. Glidesjikt skal legges ut oppå det finplanerte underlaget og isoporen for å oppnå et flytende gulv (se 5.1.9). Til glidesjikt benyttes ett lag med 0,2 mm plastfolie.

Gulvkonstruksjonen formsettes med forskaling, armeres og støpes med gjennomgående utsparinger for spennarmeringen. Støpesteng monteres ved åpninger i vegger og ved eventuelle støpeskjøter. Videre skal det som skal fungere som utsparinger for spennarmeringen legges ut. For konstruksjonstilfeller med uinjisert spennarmering benyttes vanligvis plastrør som utsparinger. I disse plastrørene er det som oftest lagt inn spenntau og fylt med fettmasse [10]. Når både utsparingsrør og spennarmering legges ut før støping, kan den passive forankringen i den ene enden av spennarmeringen støpes inn i betongen samtidig med utstøpingen av gulvet.

Arbeidet med utlegging og oppspenning av spennarmering skal ledes av personer med kompetansebevis i klasse UPK3+S i henhold til Betongopplæringsrådets kompetansesystem [43].

Utsparingsrørene til spennarmeringen skal plasseres nøyaktig etter tegningsbeskrivelsene, og armeringen ved forankringene av spennkablene må plasseres slik at det kan oppnås god utstøping [20].

Når spennarmering, forskaling, utsparing og støpesteng er kontrollert, kan betongen støpes ut. Ved støping av etterspent gulv skal det benyttes pumpebil med tårn, rør og slanger for å transportere betongen fra betongbilen til området der det skal støpes [7]. Videre kan betongen støpes ut på samme måte som beskrives i 7.2. Ved spennarmeringen og ved forankringene av denne skal betongen ettervibreres for å forhindre hulrom på undersiden av disse, som følge av setninger i betongen [20]. Prinsipp for utstøping av denne typen gulv er vist i Figur 37.

Når betongen har herdet og oppnådd tilstrekkelig fasthet, kan armeringen spennes opp med jekk i den aktive enden [10]. For at spennarmeringen skal kunne strammes opp, må den være fastlåst i den andre enden. På denne enden støpes det inn passivanker som skal låse fast armeringen [20]. Ved oppspenning av armeringen vil betongen fungere som mothold, og armeringen låses av mot forankringsplater som er støpt inn i betongen [10]. Selve oppspenningen av spennkablene i gulv på grunn skal utføres som beskrevet i 5.4.

Det skal føres protokoll for oppspenning av hver spennkabel [20]. Som et minimum skal denne protokollen inneholde tidspunkt for oppspenning, kabelnummer, størrelse på kabel,

oppenningsrekkefølge, krav til minimum betongfasthet ved oppspenning, målt f_{cj} , altså betongens målte trykkfasthet ved tiden j , avleste spennkrefter og målte forlengelser (før og etter låsing) [20].

Det skal utføres overflatebehandling ved bruk av dette gulvkonseptet også, men det beskrives ikke i dette kapitlet.



Figur 37: Støping av et spennarmert dekke [7].

8 Overflatebehandling av betonggulv

For prosjektet til Bertel O. Steen skal det gjennomføres minst to runder med overflatebehandling [7]. Det innebærer at gulvet skal brettekures og stålglattes.

Dersom overflaten på betonggulv er forholdsvis porøs og utsatt for slitasje, kan denne avgi støv, slik at dette vil kunne bli liggende oppå overflaten og kan også virvles opp. Dette kan gi merarbeid ved vasking av gulvet i bruksfasen, og bør forhindres. Overflatebehandling av gulvet kan begrense støvdannelsen, og betongens egenskaper i det øverste sjiktet er avgjørende for støvdannelsen [8].

Industrigulv må kunne motstå slitasje som forårsakes av forhold som blant annet maskinell rengjøring, gangtrafikk, hjulbelastning, feil bruk av rengjøringsmiddel. Disse forholdene vil kunne forårsake skuring, knusing av partikler i betongoverflaten og merker på overflaten [8]. Herdebetingelser og overflateplanhet har betydning for industrigulvets slitestyrke.

Overflater på betonggulv kan utføres slik at sluttresultatet kan bli helt forskjellig for ulike gulv, avhengig av ønsket uttrykk, ytelse, kvalitet og farge [8]. I tillegg vil sluttresultatet påvirkes av egenskapene til betongen og de ytre forholdene. Dette er faktorer som er vanskelig å ha fullstendig kontroll over, og det vil derfor være svært vanskelig å få flere helt like gulv. For betonggulv som har strenge krav til overflaten, anbefales det å utarbeide en god beskrivelse med ønskede materialer, metode, krav til samarbeidet mellom flere leverandører og i tillegg utføre en fullskala prøvestøp som på forhånd beskrives godt [8]. Det er svært viktig at det er god kvalitet på utførelsen, for å oppnå en gulvoverflate med et godt sluttresultat.

Overflatebehandling av betonggulv skal utføres for alle de alternative gulvkonseptene i det aktuelle prosjektet, og med ett felles konsept. Dette konseptet innebærer pussing (brettekuring) og stålglatting som skal oppfylle forhåndsbestemte overflatekrav i henhold til eventuelle krav fra byggherre, NS-EN 3420 Del 1 [47] og NS-EN 13670 [15]. Disse standardene angir blant annet krav til overflater som overflateklasser, krav til planhet og ruhet. Dersom overflaten skal stålglattes er tillatt avvik for lokal planheten i henhold til tabell NA.G.5.a i NS-EN 13670 [15], maks 5 mm for en målelengde på 2 m. Ved sammenligning med tabell 3 i NS-EN 3420 [47], gir dette overflatetoleranseklasse PC.

Det stålglattede gulvet til Bertel O. Steen skal minimum tilfredsstillende kravene til overflateklasse PC, i henhold til avsnitt over.

For å oppnå en betongoverflate med god slitestyrke må gulvoverflaten være plan og betongen kan verken ha separasjon eller bom [7].

8.1 Brettskuring

Brettskuring gir en kompakt overflate, og benyttes ofte som en forberedende behandling til stålglatting [8]. Det skall alltid gjennomføres brettskuring før stålglatting, som innebærer at det da må gjennomføres pussing i to trinn [7].

En skal la betongen herde lengst mulig før gulvet brettskures, og skuringen skal ikke gjennomføres på overflater der det er fritt vann [8]. Ifølge NB 15 [8] kan brettskuring igangsettes når det dannes et fotavtrykk med 3-4 mm avsetning, men for et sikkert valg av tidspunkt kreves det imidlertid kunnskap og erfaring.

Skuringen skal utføres effektivt, og spesielt hvis det er høy temperatur, samtidig som det er vind og betongen har lavt masseforhold [8].

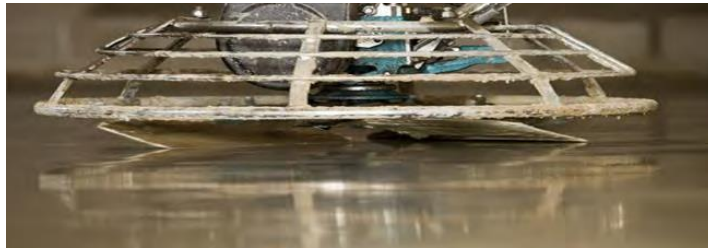
Brettskuring utføres med glattmaskin med skureplater som vist i Figur 38. På store gulv benyttes dobbelglattere for å få en mer effektiv skuring pr. arbeider som skurer overflaten [8]. Disse maskinene er tyngre, og en må vente lengre før en kan utføre brettskuringen. I områder på gulvoverflaten langs vegger, ved søyler, fuger, små flater, der det er vanskelig å komme til, benyttes håndbrett til skuringen.



Figur 38: Brettskuring med dobbelmaskin [8].

8.2 Stålglatting

Stålglatting utføres på betongoverflaten med helikoptermaskin med stålvinger eller for hånd med stål Brett, som vist i Figur 39 [8]. Det finnes både enkel og dobbel helikoptermaskin som er vist i Figur 40. Ved pussing av større gulvareal kan det ved bruk av dobbel helikoptermaskin oppnås en rask framdrift [44].



Figur 39: Stålglatting [8].

I områder på gulvoverflaten langs vegger, ved søyler, fuger, små flater og der det skal etableres mindre fall, er det vanskelig å komme til med helikoptermaskin [8]. Derfor bør betongoverflaten i disse områdene stålglattes for hånd med stål Brett. Ved bruk av håndholdt stål Brett, kreves det godt håndlag og kunnskap om de grunnleggende teknikkene [8].

Stålglatting av betongoverflaten benyttes for å øke overflatefastheten og slitestyrken ved å få en tett, hard og glatt overflate [8, 39]. Før en kan gå i gang med stålglatting, må gulvet være brettskurt [8]. Stålglattingen kan igangsettes når betongen har herdet så mye at den underliggende betongen ikke lenger er plastisk, slik at ikke vann og luft fortsetter å komme opp til overflaten, samt at overflaten er matt og hard nok til at en person kan gå på denne uten at det dannes tydelige spor dypere enn 3 mm [25], [8]. Før det velges stålglatting anbefales det å gjennomføre en prøvestøp der denne metoden testes før den gjennomføres på gulvet, for å sikre at det ønskede resultatet oppnås. Impregnering i tillegg til stålglatting bidrar til å binde støvet på betongen.

Dersom betongen stålglattes for tidlig, vil det kunne gi en svak støvende overflate [25]. I denne arbeidsprosessen skal det ikke tilsettes vann eller sement. For betong som skal stålglattes anbefales det å ikke tilsette luftinnførende tilsetningsstoff dersom dette bidrar til at betongen får et luftinnhold på over 3,0 % [8]. Et høyt luftinnhold i betongen kan føre til delaminering. En ulempe med å stålglatte gulvoverflater, er at det kan gi et glatt gulv dersom overflaten blir våt.

Dersom det skal gjennomføres flere runder med stålglatting, vil arbeidet med stålglatting ta lang tid. Det er viktig å være oppmerksom på at stålglatting som regel vil ta mer enn en arbeidsdag, og gjennomføringen av denne arbeidsoperasjonen på store industrigulv bør derfor planlegges for minst to skift [8].

For å oppnå et resultat med ønsket kvalitet, må arbeiderne som utfører stålglattingen ha god kunnskap og erfaring, både når det gjelder selve stålglatteprosessen og bruk av utstyret.



Figur 40:Dobbelt helikopter [8].

8.3 Impregnering

For å beskytte overflaten på betonggulv og hindre nedbrytning av overflaten, kan gulvet overflatebehandles med silikatbasert impregnering, hydrofob behandling (vannavstøtende) eller ved å legge på et belegg på overflaten.

Å velge riktig overflatebehandling kan være vanskelig. Det bør derfor skaffes til veie informasjon om hvordan produktet virker og om det er eventuelle bieffekter som må vurderes nærmere [48 Bergen (google drive)].

Før det gjennomføres valg av metode for overflatebehandling, anbefales det å utføre hele behandlingsprosedyren for den aktuelle metoden på et prøvefelt [8]. Dette for å sikre at det ønskede sluttresultatet på overflaten oppnås.

Det kan stilles krav til dokumentasjon av overflaten, avhengig av hvilket materiale som benyttes, den aktuelle brukssituasjonen og hva som ønskes av byggherren når det gjelder impregneringens funksjon [1].

Eksempler på krav som kan stilles til dokumentasjon for impregneringen i det aktuelle prosjektet i henhold til [1]:

- Kapillær absorpsjon og vannpermeabilitet
- Heftfasthet
- Inntrengningsdybde
- Vanddamppermeabilitet (væskebestandig ved nedsenking i andre væsker enn vann)
- Brannklassifisering
- Sklimotstand/overflatefriksjon
- Motstand mot kloridinntregning
- Motstand mot CO₂-inntregning

For industrigulvet til Bertel O. Steen har Skanska opplyst at det skal overflatebehandles med silikatbasert impregnering [7]. Impregneringen skal utføres etter at overflaten er stålglattet og har herdet tilstrekkelig. Ved å impregnere overflaten med denne typen impregnering kan gulvet i større grad motstå slitasje som skyldes ytre eksponering, samt redusere overflateporøsiteten slik at det oppnås mindre problemer med betongstøv på overflaten [27]. Gulv med denne typen impregnering vil imidlertid ikke forhindre væskeinntregning [1].

Impregneringen vil danne en tynn ikke-kontinuerlig film på overflaten. Det nevnte impregneringsmaterialet er vannglass som er natrium-, kalsium- og litium-silikater oppløst i vann. Impregneringen vil trenge inn i poresystemet der de lettløselige silikatene vil reagere med kalsiumhydroksidet i betongens alkaliske porevann, slik at det dannes uløselige kalsiumkomponenter. Det vil skje en utfelling av disse som helt eller delvis vil fylle opp porene i betongoverflaten.

Vannglass er mest effekt på betong med høyt masseforhold, og best resultat oppnås ved påføring kort tid etter utlegging av betongen [1]. Gulvet i det aktuelle prosjektet skal stålglattes, og derfor påføres impregneringen like etter at stålglattingen er utført [27].

Impregneringen av gulvet utføres ved at vannglass helles utover betongen og fordeles med kost til den har overskudd av fuktighet i overflaten [27]. Det går som oftest med 0,2-0,4 kg/m³. Betongen skal holdes fuktig til vannglasset reager med porevannet i betongen, og det dannes gel, som vanligvis skjer etter 2-3 timer. Dette kjennetegnes ved at vannglasset blir svært glatt og er som gelé. Gulvet skal vannes og holdes fuktig i ytterligere 15-30 minutter når vannglasset geler, på grunn av at gelen utvannes. Til slutt fjernes all overflødig gel med

gummisvaber. Det legges vanligvis ut plast for å la vannglasset tørke ut, slik at det oppnås et fast produkt. Figur 41 viser påføring av vannglass på en gulvoverflate.



Figur 41: Påføring av vannglass (silikatbasert impregnering) [1].

8.4 Polering

Polering av betongoverflaten er en metode for å forbedre overflatekvaliteten på [7]. Det gir en overflate som har enda større planhet og er glattere, sammenlignet med gulv som kun brettskures og stålglattes. Ved polering slipes betongen med en dybde opptil 0,2 mm ved hjelp av en slipemaskin med diamanter [1]. For å beskrive slipingen benyttes uttrykkene «steg» og «gritt». Antall ganger med sliping beskrives med steg, og størrelsene på segmentene, altså grovheten på slipingen beskrives med gritt. Poleringen skal gjennomføres etter at gulvet er impregnert med vannglass [1].

Poleringen av gulvet skal i hovedsak gjennomføres med en slipemaskin beregnet for store flater, men i kantene av gulvet må det benyttes en kantslipemaskin [1]. Denne er mindre for at det skal oppnås et like godt resultat ved kantene som midt på gulvet.

9 Herdetiltak og etterbehandling

For å oppnå et godt sluttresultat er det veldig viktig å gi betongen god etterbehandling med iverksettelse av flere ulike typer herdetiltak [44]. Dette for å oppnå en betongoverflate uten plastiske svinnriss, og som har høyest mulig fasthet og bestandighet. Plastiske svinnriss som ikke er ønskelig i betongoverflaten er vist i Figur 42. Herdetiltak vil hindre tidlig uttørking og fukttap til omgivelsene, og i tillegg sikres det gode herdebetingelser ved at betongen vil herde mer langsomt [7]. Dette er viktig å unngå fordi det ønskes god slitastyrke i overflaten. Aktuelle herdetiltak skal gjennomføres så tidlig etter støping som det er praktisk mulig [8].



Figur 42: Plastiske svinnriss [8].

NS-EN 13670 [15] angir ulike herdeklasser 1-4, der 4 er den strengeste klassen, og NS-EN 3420-L [18] angir forskjellige typer herdetiltak. I [8] forutsettes det herdeklasse 4 for gulv med gulvklasse I, og herdeklasse 3 i gulvklasse III. For betonggulv i gulvklasse I og gulvklasse II med noen ulike betongtyper og forskjellige overflatetemperaturer, er minste veiledende varighet på herdetiltak vist i Tabell 6. For alle gulv anbefales det likevel å gjennomføre herdetiltak i en måned etter utstøping, for å sikre et godt resultat [11]. Ordinær betong som er aktuell i gulvet til Bertel O. Steen, har rask fasthetsutvikling. STD-FA sement er eksempel på en type sement som er vanlig i ordinær betong. Denne inneholder moderate mengder med tilsetningsmaterialer. De andre betongtypene i Tabell 6 har større mengder tilsetningsmaterialer som gir langsommere fasthetsutvikling. Betongtypen CEM III/B har den mest langsomme fasthetsutviklingen [8]. Ved langsom fasthetsutvikling, er det behov for en lengre periode med herdetiltak. Generelt anbefales det å gjennomføre herdetiltak i en måned etter utstøping, for å sikre et godt resultat.

Tabell 6: Anbefalt korteste periode med herdetiltak for gulv med strenge krav til overflaten [8].

Betongtyper	Betongoverflatetemperatur		
	>15	15-10	10-5
	Dager med herdetiltak		
Ordinær	5	7	9
Lavkarbon A Lavvarme	9	13	18
CEM III/B	12	21	30

Etter pussing og stålglatting er det nødvendig å iverksette tiltak som kan begrense avdampingen. Aktuelle tiltak er herdemembran, vanning, fiberduk og tildekking med plastfolie. Å iverksette flere av disse tiltakene vil gi enda bedre herdebetingelser [8]. Herdetiltakene skal gjennomføres over en periode i henhold til den aktuelle herdeklassen [8].

9.1 Herdemembran

Herdemembran er mest effektivt tidlig i herdeforløpet, og taper effekt raskt. Det bør derfor iverksettes andre tiltak etter hvert. En bør være bevisst på at noen herdemembraner kan danne et sjikt som gir redusert heft, dersom gulvet skal utføres en form for behandling av dette senere [8].

Herdemembran kan alltid benyttes når betongen har et masseforhold mindre eller lik 0,50. og ved masseforhold større enn 0,50 dersom det er ugunstige fordampningsforhold, det vil si at det er sol, vind, lav relativ luftfuktighet eller høy fersk betongtemperatur [8]. Det er altså ikke nødvendig å benytte herdetiltak ved masseforhold større enn 0,50 ved normale forhold.

Det skal benyttes herdemembran som kan kombineres med brettskuring og stålglatting. Akrylbasert herdemembran er best tilpasset stålglatting og brettskuring. Noen voksbaserte herdemembraner kan ikke kombineres med brettskuring og stålglatting. Til industrigulvet til Bertel O. Steen har Skanska vedtatt at det skal benyttes herdemembran basert på emulgert voks [7]. Ved påføring av herdemembranen på betongen skal det tilhørende produktdatabladet

følges [8]. For at HMS-forholdene skal ivaretas i størst mulig grad, er det likevel en generell anbefaling at det benyttes vannbaserte herdemembraner istedenfor løsemiddelbaserte.

9.2 Tildekking med plastfolie

Tildekking med plastfolie er veldig vanlig, og er det beste tiltaket mot avdamping like etter at betongen er avrettet, se Figur 43. Dette er vanskelig i praksis, fordi plastfolien vil klebre seg til den nystøpte betongoverflaten [8]. Det sprøytes derfor som oftest herdemembran på betongen først, og ruller ut plast umiddelbart etter pussing og stålglatting.



Figur 43: Tildekking av betonggulvet med plastfolie [34].

9.3 Tildekking med fiberduk

Tildekking med fiberduk er effektivt i kombinasjon med vanning, fordi denne holder godt på fuktigheten [8]. Utrulling av fiberduk er vist i Figur 44.



Figur 44: Utlekking av fiberduk [34].

9.4 Vanning

Vanning er det mest effektive tiltaket, men vannet kan fryse og hindre andre utføringen av andre arbeider. Derfor må eventuell vanning være under oppsyn, og er dermed lite egnet. Det kan eventuelt gjennomføres periodevis vanning [8].

9.5 Herdetiltak for aktuelle gulvkonsept

Herdetiltakene som er nevnt over, kan gjennomføres for alle gulvkonseptene. For gulvkonseptene tradisjonelt nettarmert og etterspent gulv som har lavere masseforhold enn 0,50 (se 9.1), kan det velges å benyttes herdemembran. For de fiberarmerte gulvkonseptene (Mapei Expancrete og Primekss Industrigulv), som har masseforhold over 0,50 (se 9.1), vil det kun være behov å påføre herdemembran ved ugunstige forhold som vind, sol, lav relativ luftfuktighet og høy betongtemperatur. Fordi det forutsettes gode forhold under støpingen, er det ikke et absolutt krav å beskytte betongoverflaten med herdemembran for å oppnå et godt sluttresultat.

For å bestemme varigheten på herdetiltakene kan det benyttes forskjellige typer beregningsprogrammer [8]. Dersom det er ønskelig å benytte slike programmer, bør de imidlertid kun brukes for å få et grovt estimat for hvor lang tid uttørkingen av betongen vil ta, da det er knyttet stor usikkerhet til disse.

Hett 97 er et eksempel på et herdeteknologi-program som kan simulere temperaturen og fasthetsutviklingen til en betongkonstruksjon [49]. Dette programmet kan benyttes som et verktøy i planleggingen av støpearbeid.

For Mapei og Primekss-løsningen benyttes det i tillegg til herdemembran og tildekking med plast, også herdetiltak som fiberduk og vanning oppå disse [34], [46]. Fiberdukene rulles ut oppå den utlagte platen, se Figur 44.

Etter støping av gulvet er det viktig å beskytte dette mot skader eller misfarging. Dette gjelder spesielt dersom det skal utføres arbeid oppå gulvet, trafikkeres og plasseres produkter oppå gulvet [8]. I bygget til Bertel O. Steen må dette følges opp, da det stilles krav til overflatekvaliteten.

10 Økonomi

I dette kapitlet evalueres kostnadene for de fire alternative gulvkonseptene for industrigulvet til Bertel O. Steen. Det er nødvendig med noe bakgrunnsinformasjon for å kunne beregne de totale kostnadene. I dette prosjektet benyttes grovkalkulasjon fra Skanska for valg av konsept med hensyn til økonomi. For å kunne evaluere økonomien i prosjektet, er det nødvendig å ha bakgrunnsinformasjon som enhetspriser, materialmengder, nødvendig timeverk for utførelse av arbeidet og kostnader for underentreprenører. I denne evalueringen benyttes tall fra grovkalkulasjonen til Skanska, for å ha et grunnlag som er relevant for dette prosjektet der Skanska er ansvarlig entreprenør.

For hvert av gulvkonseptene er det satt opp en tabell som inneholder delposter med tilhørende enhetspriser og mengder, som gir forventede kostnader for gulvkonseptet. Informasjonen i tabellene benyttes som et grunnlag for kostnadsevalueringen. De oppgitte enhetsprisene i grovkalkulasjonen til Skanska vurderes og kontrolleres før de benyttes i denne rapporten.

For beregning av kostnadene for gulvkonseptene legges det til grunn noen felles forutsetninger som er ført opp i Tabell 7. I kostnadsevalueringen inkluderes ikke kostnader for bærelag, fordi byggherren er selv ansvarlig for dette i det aktuelle prosjektet, samt at det er nødvendig for alle konseptene og vil dermed ikke bidra til noen kostnadsforskjell mellom de ulike konseptene. Det er heller ikke beregnet eventuelle kostnader for plastfolie og isolasjon under betonggulvet, fordi dette ikke er inkludert i grovkalkylen til Skanska som denne evalueringen baseres på.

Ved bestilling av priser for gulvkonseptene, oppgis de samme forutsetningene til alle leverandørene. Det tillates at leverandørene kan levere et gulv som har litt andre forutsetninger enn de oppgitte, dersom kravet til styrke og bestandighet fortsatt er oppfylt. Det må i så fall leveres dokumentasjon på at dette kravet er tilfredsstillt.

Tabell 7: Felles forutsetninger for gulvkonseptene [7]

Gulvtykkelse	200 mm
Betongkvalitet	B45
Gulvareal	15 290 m ²

Timepris	600 kr/time
Betongvolum	3 058 m ³
Timeverk pr. tonn armering	4 timer
Underentreprenør støp og puss	125 kr/m ²
Timeverk fuger og steng	0,25 timer/m

Når det gjelder betongen, levers denne fra Skedsmo betong, og vil i hovedsak være den samme for alle konseptene [7]. Det vurderes å oppgradere betongen fra B30 til B35, og droppe hardbetong i konseptet som produseres av Primekss i prosjektet til Bertel O. Steen. Dette vil sannsynligvis gi en omtrentlig identisk kostnad, eventuelt en litt lavere kostnad [7].

10.1 Tradisjonelt nettarmert industrigulv

Tabell 8: Kostnadsoverslag for tradisjonelt nettarmert gulv [7].

Post	Enhet	Enhetskostnad (kr)	Mengde	Kostnad (kr)
Gulvbetong levert	m ³	923	3 058	2 822 534
Pumpekostnader	m ³	180	3 058	550 440
Armering	tonn	8 000	429	3 434 746
Timeverk armering	timer	600	1 717	1 030 424
UE støp og puss	RS	-	-	1 911 250
Støpesteng	m	150	600	90 000
Montering støpesteng	timer	600	600	360 000
Fugesteng m dybler	m	650	1 300	845 000
Montering fuger og steng	timer	150	325	48 750
Totalt	-	-	-	11 093 143

Tradisjonelt nettarmert industrigulv leveres i dette prosjektet av Skanska, og det er dermed prisene som Skanska opererer med som ligger til grunn for dette gulvkonseptet.

Kostnadsoverslaget for tradisjonelt nettarmert gulv er presentert i Tabell 8.

I arbeidet med denne rapporten er det oppdaget at industrigulvet som er lagt til grunn for kostnadsoverslaget til dette gulvkonseptet i Tabell 8, er noe underdimensjonert i forhold til de andre gulvkonseptene. Årsaken til at konseptet som leveres av Skanska er underdimensjonert, er fordi det benyttes en punktlast med en lastflate fra reolbein som gir en betydelig mindre belastning på gulvet, enn for en punktlast på 150 kN med en lastflate på 0,15 m x 0,15 m som kan tolkes som kravet fra byggherren ut fra kravspesifikasjonene fra Bertel O. Steen [40]. Dette betyr videre at industrigulvet med tradisjonell nettarmring som er lagt til grunn for kostnadsoverslaget, er dimensjonert for en mindre belastning enn det bestilte gulvet. Dermed vil et gulv som er kraftigere dimensjonert og som oppfyller kravene til byggherren, få litt høyere produksjonskostnader enn det som fremkommer av overslaget i Tabell 8. Dette skyldes i hovedsak at det er behov for en liten økning i materialmengden for å kunne produsere et gulv som er dimensjonert for større punktlaster. Dette innebærer at industrigulvet med tradisjonell nettarmring som har enda større lastkapasitet, vil komme dårligere ut i forhold til gulvet med tradisjonell armering som er lagt til grunn for tallene i kostnadsoverslaget, dersom de alternative gulvkonseptene sammenlignes i forhold til pris.

Differansen i kostnadene mellom gulvet med tradisjonell nettarmring som er lagt til grunn for kostnadsoverslaget i Tabell 8 og gulvet som er dimensjonert for større punktlaster, vil kun være av betydning for valg av gulvkonsept i prosjektet til Bertel O. Steen dersom de alternative gulvkonseptene kan produseres for tilnærmet like eller høyere kostnader, enn det tradisjonelt nettarmerte gulvet i kostnadsoverslaget. Ved å sammenligne tabellene med kostnadsoverslag for de alternative gulvkonseptene, kommer det fram at gulvkonseptet med tradisjonell nettarmring uansett vil ha mye høyere produksjonskostnader enn de andre alternativene. Denne feilen vil derfor ikke ha betydning for valg av konsept, og derfor benyttes kostnaden for gulvkonseptet med tradisjonell armering i Tabell 8 for evalueringen av økonomien.

Den totale kostnaden for konseptet med tradisjonelt nettarmert industrigulv er 11 093 143 kr. De fire største kostnadspostene i dette konseptet er armering, levert betong, underentreprenør til støp og puss og timeverk for utlegging av armering.

I kostnadsoverslagene for alle gulvkonseptene er det lagt inn kostnader til pumping av betongen, bortsett fra konseptet Primekss Industriegulv som ikke skal pumpes. Denne posten vil derfor kun ha betydning for sammenligning av konsepter mot konseptet som leveres fra Primekss.

Kostnadsposten for underentreprenører for støp og puss er også aktuell for alle konseptene, bortsett fra Primekss Industriegulv som utfører produksjonen i egenregi. Kostnadene tilhørende denne er satt inn i Tabell 8 som en rundssum (RS), som betyr at det skal utbetales en fastpris til underentreprenøren.

I dette konseptet vil det gå med en del kostnader til fugeløsninger og støpesteng både for materialer og timeverk for montering av disse. Dette gjelder alle konseptene, unntatt Primekss industriegulv. Antall meter fugesteng og arbeidstimer for montering av dette er forskjellig for hvert gulvkonsept.

De mest aktuelle tiltakene for å oppnå en kostnadsreduksjon i dette konseptet er å effektivisere armeringsarbeidet og eventuelt redusere armeringsmengden. Forslag til effektiviseringstiltak er å benytte rullearming som må spesialtilpasses det aktuelle gulvet i fabrikk. Rullearming kan ved ankomst byggeplass transporteres inn på gulvet og ruller raskt utover. Dersom det er ønskelig å vurdere muligheten for å bruke denne typen armering i industriegulv, må dette vurderes i et eventuelt videre arbeid.

10.2 Mapei expancrete med svinnkompensert betong

Tabell 9: Kostnadsoverslag for gulvkonseptet med Mapei Expancrete som er fiberarmert med svinnkompensert betong [7].

Post	Enhet	Enhetskostnad (kr)	Mengde	Kostnad (kr)
Gulvbetong levert	m ³	1 965	3 058	6 008 970
Pumpekostnader	m ³	180	3 058	550 440
Armering	tonn	8 000	61	489 280
Timeverk armering	timer	600	245	146 784
UE støp og puss	RS	-	-	1 911 250

Støpesteng	m	150	1 200	180 000
Montering støpesteng	timer	150	1200	180 000
Fugesteng m dybler	m	650	600	390 000
Montering fuger og steng	timer	150	600	90000
Totalt	-	-	-	9 946 724

Et overslag over kostnadene til det fiberarmerte gulvkonseptet Mapei Expancrete, er satt opp i Tabell 9. I dette overslaget er det i hovedsak to store kostnadsposter, som er levert gulvbetong og underentreprenør for støp og puss. Postene armering og timeverk for utlegging av armering utgjør forholdsvis lite i dette konseptet, fordi stålfiberarmering benyttes istedenfor tradisjonell nettarmoring. Totalkostnaden for Mapei Expancrete med svinnkompensert betong er 9 946 724 kr.

I dette konseptet er enhetskostnaden pr. m³ for ferdig levert gulvbetong 1 042 kr dyrere i forhold til de to andre gulvkonseptene som har spesifisert dette som en egen post. Årsaken til dette er at Mapei har inkludert det ekspanderende tilsetningsstoffet Mapei Expancrete i denne posten, fordi det tilsettes i betongen på blandeverket før den leveres på byggeplassen.

10.3 Primekss industrigulv

Tabell 10: Kostnadsoverslag for gulvkonseptet Primekss Industrigulv [7].

Post	Enhet	Enhetskostnad (kr)	Mengde	Kostnad (kr)
Ferdig gulv	m ²	391	15 290	5 978 390

Primekss industrigulv leveres som ferdig gulv til en pris som oppgis i en rundssum (RS). Det innebærer at alle kostnadene som for eksempel material- og arbeidskostnader er inkludert i denne prisen. Totalkostnaden for gulvkonseptet Primekss industrigulv er kun 5 978 390 kr,

med en enhetspris pr. kvadratmeter på 391 kr, og er vist i et enkelt kostnadsoverslag i Tabell 10.

For å få et bedre grunnlag for evaluering av kostnadene i prosjektet, er det etterpsurt fra Primekss et mer detaljert kostnadsoverslag der også enkeltposter er priset, uten hell. Dette medfører en stor begrensning i grunnlaget som er nødvendig for å få gjennomført en god evaluering av kostnadene for Primekss industrigulv i denne rapporten. Det er derfor et begrenset kostnadsgrunnlag som benyttes for evalueringen av konseptet med Primekss Industrigulv.

Hovedårsaken til at det kan oppnås forholdsvis lave kostnader ved å benytte Primekss Industrigulv, er blant annet fordi Primekss har optimalisert gulvkonstruksjonen. Resultater fra denne optimaliseringen er at gulvet kan produseres med et tynnere tverrsnitt. Det at Primekss kan operere med så lave kostnader for dette gulvkonseptet, skyldes også at fiberarmering benyttes istedenfor tradisjonell nettarmoring og at det er en veldig effektiv produksjon, både ved at det benyttes færre personer i produksjonen og at det benyttes store maskiner til utlegging og avretting. Dette gir en kraftig reduksjon av antall arbeidstimer i produksjonen, og dermed en reduksjon i lønnskostnader og kortere driftstid for maskinene. Kortere driftstid på maskinene vil gi reduserte driftskostnader, på grunn av mindre slitasje på maskinene og et lavere drivstofforbruk. For at det skal være lønnsomt å investere i store maskiner til produksjon av industrigulv, er det nødvendig å produsere mange større industrigulv i løpet av en relativt kort tidsperiode.

For dette konseptet skal betongen ikke pumpes, men kjøres ut med bil. Dermed kan pumpekostnader utelukkes, men i stedet må det legges til kostnader for bruk av dumperbil. Disse kostnadene er ukjente.

I tillegg skal det strøs et lag med hardbetong på toppen av gulvet, som kun er aktuelt for dette konseptet. Dette er en ekstra kostnadspost som ikke noen av de andre konseptene har. Dermed gir dette en ekstra ukjent kostnad for dette konseptet.

Det er også i dette konseptet kostnader til pussing av gulv. I tillegg vil det her være en del kostnader for transport av større maskiner til og fra den aktuelle byggeplassen.

10.4 Etterspent gulv

Tabell 11: Kostnadsoverslag for gulvkonseptet etterspent gulv [7].

Post	Enhet	Enhetskostnad (kr)	Mengde	Kostnad (kr)
Gulvbetong levert	m ³	923	3 058	2 822 534
Pumpekostnader	m ³	180	3 058	550 440
Armering	tonn	8 000	6	48 928
Timeverk armering	timer	600	24	14 678
Spennsystem	RS	-	-	2 760 000
Arbeid spennsystem	RS	-	-	1 456 000
UE støp og puss	RS	-	-	1 911 250
Støpesteng	m	150	1 200	180 000
Montering støpesteng	timer	600	1 200	720 000
Fugesteng m dybler	m	650	0	0
Montering fuger og steng	timer	150	0	0
Totalt	-	-	-	10 463 830

Et overslag over kostnader for gulvkonseptet med etterspent gulv er presentert i Tabell 11. For etterspent gulv utgjør den totale kostnaden 10 463 830 kr i henhold til Tabell 11. De fire postene med størst kostnader i dette gulvkonseptet er levert gulvbetong, spennsystem, underentreprenør til støp og puss og arbeid med spennsystemet.

Det som kjennetegner økonomien i dette konseptet, er at det spennarmering og arbeid med denne utgjør en stor del av kostnadene. Ved bruk av spennarmering vil det ikke være nødvendig med tradisjonell nettarmring, og dermed vil det være lite kostnader tilknyttet postene armering og timeverk til armering. Det vil kun være behov for tradisjonell armering ved hjørner, utsparinger og ved forankringsområdene for spennarmeringen [20].

I kostnadsoverslaget for etterspent gulv i Tabell 11 oppgis kostnadene i postene spennsystem, arbeid spennsystem, underentreprenør til støp og puss som rundssum (RS). De resterende postene oppgis med enhetskostnader og mengder.

Det vil normalt ikke være behov for fuger i etterspent gulv, og dermed kan en for gulv med dette konseptet se bort fra kostnader til fugeprofil og montering av disse.

10.5 Samlet evaluering

Flere av gulvkonseptene har samme kostnadsposter med både samme mengde og pris, som for eksempel pumpekostnader, underentreprenør til støp og puss, samt montering av støpesteng. Dette bidrar til å begrense variasjonen i kostnadene for de alternative gulvkonseptene.

Primekss Industrigulv er helt klart det aller billigste konseptet. Ved bruk av Primekss industrigulv oppnås en kostnadsreduksjon på minst 46 % i forhold til tradisjonelt nettarmert gulv, som er det dyreste av de alternative gulvkonseptene. Totalkostnaden for Primekss Industrigulv er hele 278 890 kr lavere enn materialkostnadene for kun betong og armering i gulv med tradisjonell nettarmering. For tradisjonelt nettarmert gulv kommer i tillegg kostnader til støping og pussing, arbeidstid for armering, pumping av betongen, støpesteng, fugeprofiler, arbeidstid til montering av fuger og støpesteng. Av dette kan en få et godt bilde av hvor mye billigere konseptet Primekss Industrigulv er i forhold til det tradisjonelt nettarmerte gulvet.

Mapei Expancrete er det nest billigste alternativet. Likevel kan kostnadene reduseres med hele 40 % ved å velge gulvkonseptet Primekss Industrigulv, istedenfor Mapei Expancrete. Gulvkonseptet som Primekss er leverandør av, har en total kostnad som til og med er 519 860 kr lavere enn materialkostnadene for levert gulvbetong og armering i gulvkonseptet Mapei Expancrete. Ved å legge til materialkostnadene for fugeprofiler og støpesteng, vil forskjellen mellom de to gulvkonseptene være enda større. Av dette kan en bekrefte at det ikke er eventuelle forskjeller i lønnskostnader hos de to leverandørfirmaene, som er avgjørende for at Primekss Industrigulv har den laveste total kostnaden. Årsakene til at dette konseptet har de laveste kostnadene, er i hovedsak forskjeller i materialforbruket, besparelser i timeverk på grunn av effektiv produksjon og ulike innkjøpspriser for flere av materialene som benyttes i produksjonen av gulvet. Dette gjelder imidlertid ikke for betongen, da

kostnaden for vanlig betong vil være den samme for alle konseptene, fordi betongen leveres av en lokal leverandør [7]. Stålprisen er lik over hele verden, og dermed er det for de ulike armeringstypene kun kostnader tilhørende produksjonen av armeringsproduktet og mengden armering som vil variere for de ulike konseptene. Material-forbruket vil være mindre i konseptet til Primekss, på grunn av at de har utviklet en konstruksjonsløsning som har lavere tverrsnittshøyde i forhold til gulvløsningen som leveres av Mapei.

Et annet poeng er at Primekss som opererer fra Latvia, kan kjøpe inn maskiner til en lavere pris, sammenlignet med det firmaer i Norge kan kjøpe for. I tillegg er timelønnen for latviske arbeidere jevnt over lavere enn for norske arbeidere, som vil gi en veldig liten innvirkning på totalkostnaden for dette konseptet. Som nevnt tidligere er det allikevel ikke lønnsnivået som er avgjørende for at Primekss kan oppnå en mye lavere totalkostnad i forhold til de andre konseptene.

Kostnadsbesparelsene til Primekss er i hovedsak sparte arbeidstimer på grunn av effektiv produksjon av gulvet, og mindre materialkostnader på grunn av at Primekss leverer et gulv med tynnere tverrsnitt (Se 10.3).

Etterspent gulv er hele 43 % dyrere enn Primekss Industrigulv. I forhold til tradisjonelt nettarmert gulv er etterspent gulv tilnærmet 6 % billigere, og utgjør 689 313 kr. Forskjellen i kostnadene for etterspent gulv og tradisjonelt nettarmert gulv, skyldes i hovedsak at det er kun tradisjonelt nettarmert gulv som har fugeprofiler, ulikheter i total armeringsmengde og arbeidstid for utlegging av armeringen. I tillegg har etterspent gulv flere meter støpesteng, som bidrar til en mindre kostnadsforskjell.

Ut fra denne kostnadsevalueringen, kan konseptene nummereres etter størrelsen på kostnadene, fra lavest til høyest.

Det gir følgende rekkefølge:

- | | |
|----------------------------------|-----------------|
| 1. Primekss Industrigulv | (5 978 390 kr) |
| 2. Mapei Expancrete | (9 886 724 kr) |
| 3. Etterspent gulv | (10 463 830 kr) |
| 4. Tradisjonelt slakkarmert gulv | (11 093 143 kr) |

11 Diskusjon

På grunn av oppgavens omfang i forhold til de tilgjengelige ressursene, og på grunn av hemmelighold fra noen av bedriftene som leverer de alternative konseptene, er ikke dimensjoneringsprinsippene vurdert i like stor grad for alle konseptene. Det er derfor ikke mulighet for å gi en like god samlet evaluering av disse, slik det opprinnelig var planlagt i oppstartsfasen av dette arbeidet.

I prosjektet BOS Berger er ikke gulvløsningen med tradisjonelt nettarmert gulv en optimal løsning, da gulvløsninger med andre konsept er billigere [31]. Det er likevel ikke noe i veien med selve den tekniske løsningen i dette konseptet, da denne er godt kjent i forhold til løsninger med flere andre konsepter. Denne løsningen ville dermed vært et sikrere valg i dette prosjektet ved at en i mye større grad kan ha kontroll på risiko- og usikkerhetsfaktorene, sammenlignet de andre konseptene.

I stedet for å benytte bestandighetsklasse i Tabell 1, skulle det vært benyttet masseforhold, da det er dette som bestemmer størrelsen på svinnet i betongen og ikke eksponeringsklassen. Det er eksponeringsklassen som er avgjørende for valg av bestandighetsklassen til betongen.

For at det skal være lønnsomt å benytte så store og kostbare maskiner som Primekss har i produksjonen, er det helt nødvendig å produsere mange store gulv innen relativt kort tid [7]. Det har ikke de firmaene som produserer de andre gulvkonseptene anledning til, både på grunn av at det er et begrenset antall store gulv som skal produseres i løpet av en relativt kort tidsperiode i Norge, som er markedsområdet til de andre firmaene.

Det skal legges ut flere meter med støpesteng for konseptet Mapei Expancrete, i forhold til i gulv med det tradisjonelt nettarmerte konseptet. Dette fordi det ikke kan være alt for store støpefronter ved støping av denne typen gulv [7].

Selv om det ikke benyttes plastfolie under betonggulvet i gulvkonseptene Mapei Expancrete og Primekss Industriegulv, vil det ikke oppstå riss som følge av eventuell fastholdning mot underlaget [7]. Dette fordi de ekspanderende og svinnreduserende tilsetningsstoffene i svinnkompensert betongen som benyttes i disse konseptene, vil forhindre eventuelle riss som følge av fastholdning. Dette er en stor fordel med disse konseptene.

I til tabell 2-1 for gulvklasser i NB15 [8] (se Tabell 1) benyttes blant annet bestandighetsklasse som et krav for at et betonggulv kan plasseres i en bestemt gulvklasse.

Denne tabellen er vurdert godt i arbeidet med denne rapporten, og det vurderes slik at det er uheldig å stille krav til bestandighetsklasse, og ikke vann/semest-forholdet (v/c-tallet), fordi bestandighetsklassen er knyttet opp til eksponeringsklassen. Vanligvis bestemmes bestandighetsklassen av eksponeringsklassen i henhold til tabell NA.15 i NS-EN 206 [9]. Fordi det kun er vann/semest-forholdet, og ikke eksponeringsklassen som er av betydning for hvor mye svinn betongen vil få, bør det vurderes å erstatte kravet til bestandighetsklasse i NB15 [8] med v/c-forholdet.

Ut fra evalueringen som gjennomføres av de fire konseptene, kommer Primekss Industrigulv best ut. Det skyldes at en gulvkonstruksjon med dette konseptet har et tynnere tverrsnitt som gir en reduksjon av materialforbruket og en effektiv produksjon, både på grunn av et tynt tverrsnitt og som en følge av at det benyttes store maskiner til utlegging og avretting av betongen. Totalt gir dette betydelig lavere kostnader i forhold til de alternative konseptene. En må imidlertid være oppmerksom på at det benyttes et dimensjoneringsprinsipp som en ikke har kjennskap til i Norge, og dermed anbefales det å gjennomføre noen prøvetester under produksjonen av gulvet, dersom dette likevel velges.

11.1 Noen fordeler og ulemper for gulvkonseptene

Fordeler med gulvkonseptene som er helt fugefrie eller har et lite antall fuger, er at det vil føre til mindre reparasjon av gulvet og mindre oppsamlingsplasser for støv og smuss [34]. Dette gir lavere vedlikeholdskostnader. I tillegg kan truckene kjøre raskere, slik at det oppnås høyere produktivitet for aktiviteten i logistikklageret i bruksfasen. Ifølge Mapei oppnås en mer effektiv produksjon av slike gulv, sammenlignet med gulvkonsept med mye fuger.

For de fiberarmerte konseptene er det mulighet for å utføre andre typer arbeid på gulvet fram til kort tid før støpearbeidet skal utføres [7]. Dette er en stor fordel ved at det flere arbeidsoperasjoner kan gjøres samtidig, og dermed oppnås en raskere framdrift for hele bygget.

Ved å bruke fiber i betongen kan en slippe å montere armering. En vil da kunne produsere gulvet raskere, og oppnå et bedre arbeidsmiljøet ved at en del tunge løft og bøyning av rygg unngås [1]. Dette er en stor fordel disse konseptene har i motsetning til konseptene med tradisjonell nettarmoring og spennarmoring.

11.1.1 Tradisjonelt nettarmert gulv

Fordeler med det tradisjonelt nettarmerte gulvkonseptet er at det kan oppnås tilnærmet rissfritt og er et konsept som det er gjort mange erfaringer med. Tradisjonelt nettarmerte gulv er et trygt valg ved at det finnes mye kunnskap og erfaring om både dimensjonering og produksjon av dette konseptet, da dette er oftest brukt.

Dette konseptet gir imidlertid gulv med lav funksjonalitet ved at det er flere fuger som blant annet vanskeliggjør rengjøringen og bidrar til at gulvet kan få skader på grunn av slag fra hjul. I 0 kommer det fram at dette er det dyreste av de fire konseptene, spesielt på grunn av behov for mye armering og fuger. På grunn av høye kostnader og lav funksjonalitet anbefales det sterkt å vurdere andre konsepter før dette eventuelt velges.

I tillegg er dette konseptet et av de konseptene som har minst feltstørrelse mellom fugene. I dette gulvkonseptet er det nødvendig med mye armering i konstruksjonen, behov for mange fuger, er det dyreste konseptet og er et av de gulvkonseptene som tar lengst tid å produsere. Dette er det dyreste konseptet på grunn av behov for mye armering, fuger og mange arbeidstimer i produksjonen som følge av mye armering og fuger som skal monteres.

Fordeler med Mapei Expancrete er at det er tilnærmet rissfritt, utlegging av store mengder armering kan unngås, færre fuger enn for det tradisjonelt nettarmerte gulvkonseptet, kan kjøre betongbilen nesten helt inn til støpefronten og har kjente og pålitelige prøvemethoder av dimensjoneringsprinsippet [50].

Ulemper med dette konseptet er i hovedsak at prisen er forholdsvis høy, og det er en reell risiko for at fiberen ikke vil fordele seg jevnt utover i betongen.

11.1.2 Primekss Industrigulv

Fordeler med Primekss Industrigulv er at dette er det billigste gulvkonseptet, og dette konseptet kan også produseres mest effektivt. I tillegg har en gulvkonstruksjon med dette konseptet tynnere tverrsnitt, sammenlignet med de andre konseptene. Dette gir igjen en besparelse av materialbehovet og flere utlagte kvadratmeter med betong i løpet av et bestemt tidsrom og dermed kan det oppnås en effektiv produksjon [35]. I tillegg bidrar de store og tunge maskinene som Primekss benytter i produksjonen, til å oppnå en enda større effektivitet.

Utlegging av betong med dumperbiler er mye mer effektivt enn å pumpe betongen med pumpebil og slanger [36]. Det er flere årsaker til dette, blant annet fordi betongen ikke må pumpes gjennom lange rør og slanger, og de rørene som betongen må fraktes gjennom kan dermed ha større rørråpninger. Dette bidrar til at betongen vil passere raskere gjennom rørene. Ved bruk av pumpebil må det brukes tid på å få rigget denne på plass med blant annet påkobling av flere slanger. Ved pumping av betong kan det være fare for at det under utstøpingen, oppstår problemer med propp i slangene. Dersom det dannes propp i slangene, vil det føre til midlertidig stans i støpingen, og dermed vil støpearbeidet ta lengre tid.

En stor ulempe med dette konseptet er imidlertid at det er en stor usikkerhet knyttet til dimensjoneringsprinsippet. Dette på grunn av at det er gjort lite tester av den optimaliserte betongen til Primekss. Det er i tillegg lite erfaring med bruk av dette fiberarmerte konseptet fra Primekss i Norge. I tillegg er det en liten risiko knyttet til om fiberen vil fordele seg jevnt i betongen.

11.1.3 Etterspent gulv

Fordeler med etterspent gulv er blant annet at oppspenningen av gulvet vil bidra til et tilnærmet rissfritt gulv, og at det ikke er behov for fuger i gulvet. Dette er det eneste konseptet som kan leveres som et helt fugefritt uten feltoppdeling av gulvet, som er en stor fordel ved kjøring med truck og for vedlikeholdet av gulvet. Dette konseptet vil være varig fugefri på grunn av spennkablene som presser tverrsnittet sammen, slik at det ikke vil være noen riss i gulvet.

Ulempen med dette konseptet er at det er først og fremst at det er et av de dyreste konseptene. Det er dermed stor sannsynlighet for at et annet konsept velges framfor dette. Som det er kommet fram lengre opp i teksten, så er det en ulempe at det må brukes tid på å legge spennarmering. En ulempe med selve gulvkonstruksjonen er at betongen vil få stor belastning ved endeforankringene, der kraften fra oppspenningen av spennkablene overføres til endeforankringene. Etter lang tid vil det derfor kunne dannes kryp og dannes riss i betongen i disse områdene på grunn av den store belastningen [10].

11.2 Fastholdning

For betonggulv med store punktlaster som er tilfelle for gulvet i logistikklageret til Bertel O. Steen, bør en være oppmerksom på disse vil bidra til stor fastholdning av gulvet [7]. Gulvet vil da kunne oppføre seg mindre flytende på grunn av at disse lastene trykker gulvet med stor kraft ned mot bærelaget. Når betonggulvet presses hardt ned, vil det gi en økning av friksjonen mot underlaget, slik at gulvet vil bevege seg mindre i de horisontale retningene.

Dette kan uttrykkes med følgende likning for friksjonskraft [51]:

$$f_{\text{friksjon}} = \mu \cdot N$$

Der:

f_{friksjon}	=	Friksjon
μ	=	Friksjonskoeffisient
N	=	Normalkraft

Dess større punktlast, dess større vil normallasten fra underlaget være. Når normallasten multipliseres med friksjonskoeffisienten, μ til overflaten av underlaget, vil det resultere i friksjonskraften mot underlaget. Ved å sammenligne to tilfeller med ulike størrelser på punktlastene, vil en se at friksjonskraften vil være størst for tilfellet med størst punktlast.

I tillegg vil store betonggulv med store fugefrie områder som er produsert som et flytende gulv, også være tilnærmet fastholdt [7]. Dette fordi det for flytende gulv skal store krefter til, for å kunne trekke hele betongen sammen mot midten [8]. Dette gir spesielt en negativ innvirkning med hensyn til rissdannelse for gulvkonseptene som har stor avstand mellom fuger, slik som Mapei Expancrete og Primekss Industrigulv. For etterspent gulv vil dette ikke være like relevant, fordi dette spennes opp slik at betongen presses i større grad mot midten av gulvet.

11.3 Restbøyestrekfasthet

I dimensjoneringen av de fiberarmerte konseptene benyttes restbøyestrekfastheten til fibrene for å bestemme kapasiteten til fiberarmert betong. Restbøyestrekfastheten bestemmes ved å gjennomføre prøvetester. Til dimensjoneringen av de to konseptene Mapei Expancrete og Primekss Industrigulv, benyttes forskjellige prøvemetoder for å finne reststrekkebøyekapasiteten. Prøvemethoden som legges til grunn for dimensjoneringen av

Mapei Expaccrete er en tradisjonell metode som er beskrevet i NS-EN 14651+A1 [19] og er en kjent metode i Norge, mens prøvemethoden som brukes av Primekss er en ukjent metode.

Ved å sammenligne prøvemethodene som benyttes i de to konseptene, kommer det fram at metoden til Primekss gir en betydelig større kapasitet. En kan dermed stille spørsmål ved om metoden som benyttes i konseptet til Mapei er alt for konservativ og om denne kan forbedres. Det kan være aktuelt å gjennomføre flere prøvetester der en tester for flere prøver og for ulike punkt på prøvene.

11.4 Dimensjonering

Når det gjelder dimensjonering, benyttes det godt kjente dimensjoneringsmetoder i alle gulvkonseptene, bortsett fra i Primekss Industrigulv. Disse konseptene kan derfor trygt anbefales å benyttes for industrigulv. Etterspent gulv på grunn er imidlertid ikke produsert i Norge før, men dimensjoneringen er har tilnærmet den samme som for dimensjonering av etterspente dekker. Dimensjoneringsmetoden for Primekss Industrigulv er en lite kjent metode i Norge, og finnes ikke i noen standarder. Det er derfor knyttet en del usikkerhet til om dimensjoneringen for dette konseptet er god nok.

Før det gjøres et valg om å produsere industrigulv med konseptet fra Primekss, må en være oppmerksom på usikkerheten som dimensjoneringen utgjør, og vurdere denne godt. Dersom en velger å ta denne risikoen, og dette konseptet velges uten at det skaffes tilveie mer kunnskap, anbefales det å gjennomføre forskjellige typer prøvetester underveis i produksjonen av gulvet. Dette for å få mer kunnskap om gulvets kapasitet og et eventuelt bruddforløp.

Selv om det tradisjonelt nettarmerte gulvkonseptet har flere fuger enn de andre konseptene, vil dette konseptet likevel ha høy slitasjemotstand også ved fugekantene på grunn av at det benyttes fugeprofil av stål med stålvinkler på kantene av gulvet. Stålvinklene beskytter mot gulvkantene mot slag fra hjul. Fugeprofilet har i tillegg dybler som kan bidra til lastoverføring fra gulvplaten på den ene siden av fugen til platen på den andre siden.

En svakhet med å benytte gulv med betong som er tilsatt ekspanderende og svinnreducerende tilsetningsstoff, er at det ikke er utviklet prøvemethoder for å teste effekten av disse i betongen [7].

11.5 Usikkerheter

For gulvet i prosjektet BOS Berger, er det knyttet en del usikkerhet til hva som er riktig størrelser på lastene og lastflatene som gulvet skal dimensjoneres for. Kravspesifikasjonene fra byggherren er ikke godt nok spesifisert, og det gis dermed rom for å tolke disse forskjellig. Dette gjelder spesielt ved fastsettelse av størrelsene på lastene som skal virke på gulvet.

Dette vil ha innvirkning på kostnader for de ulike gulvkonseptene. Som nevnt tidligere er gulvet dimensjonert for forskjellige laststørrelser for flere av gulvkonseptene. Det vil føre til at enten tradisjonelt nettarmert gulv vil bli dyrere, eller at det fiberarmerte gulvkonseptet med svinnkompensert betong som leveres av Primekss vil bli billigere. Det er dermed viktig å fastsette bestemte lastforutsetninger som skal benyttes for dimensjonering av gulvkonseptene, for å unngå at en gulvløsning har mye større kapasitet enn en annen. For gulvkonsepter som skal evalueres, slik som i denne rapporten, vil det dette kunne påvirke evalueringen.

11.6 Slitestyrke

Industriegulv må kunne motstå slitasje som forårsakes av forhold som blant annet maskinell rengjøring, gangtrafikk, hjulbelastning, feil bruk av rengjøringsmiddel. Disse forholdene vil kunne forårsake skuring, knusing av partikler i betongoverflaten og merker på overflaten [8]. Det er derfor viktig at det produseres et gulv med høy fasthet, som er bestandig og har minst mulig riss. Herdebetingelser og overflateplanhet har stor betydning for industriegulvets slitestyrke. Det er derfor svært viktig at herdetiltakene som er beskrevet i denne rapporten, gjennomføres for hvert av gulvkonseptene.

11.7 Hardbetong

Skanska vurderer å droppe bruk av hardbetong i industriegulvet til Bertel O. Steen. Dette på grunn av risikoen for at det vil oppstå krakelering i hardbetongen og bom under hardbetongen, som er omtalt i 6.7.1 Dette vil kunne resultere i kortere levetid til gulvet. Det har også betydning for denne vurderingen at det i NB15 [8] og kravspesifikasjonene fra Bertel O. Steen frarådes bruk av hardbetong.

Krakeleringen i hardbetong vil kunne oppstå på grunn av at svinnet i betongtverrsnittet vil være forskjellig i overflatesjiktet og i resten av tverrsnittet, på grunn av at tørrstoffet som strøs utover gulvet vil reagere med overskuddsvannet i overflatesjiktet [7]. Dette vil medføre at hardbetongen vil svinne mer enn resten av betongen og vil dermed ha større bevegelser. Betongen vil da i noen områder kunne miste kontakten med den underliggende betongen, og kan da gi bom.

11.8 Overflatebehandling

Det skal utføres en bestemt overflatebehandling på gulvet uansett hvilket gulvkonsept som velges. Det benyttes flere typer overflatebehandling for å oppnå en overflate med et bra sluttresultat og for at dette er billigere enn kun å slippe gulvet [7]. Ved å impregnere gulvet med silikatbasert impregnering, vil det gi et betonggulv som er enklere å rengjøre, mer motstandsdyktig mot slitasje og er tettere. Dette bidrar i stor grad til å gi et funksjonelt gulv for Bertel O. Steen.

11.9 Oppsummering

Før et bestemt gulvkonsept velges, anbefales det å undersøke dimensjoneringsprinsippet og kontrollere at gulvet er dimensjonert for korrekte laster. Dette fordi et eventuelt brudd i gulvkonstruksjonen kan få alvorlige konsekvenser. Et eksempel på en konsekvens hvis det oppstår et brudd i konstruksjonen, er at en reolrad kan velte, slik at det oppstår personskafer og materielle skader. I verste fall vil konsekvensen være dødsfall. Det vil da kunne føre til en rettsak der en eller flere parter vil stilles til ansvar for hendelsen som inntraff, og dermed hvem som er ansvarlig for at det oppsto brudd i konstruksjonen.

Resultatene fra denne rapporten kan i hovedsak benyttes som et informasjonsgrunnlag ved planlegging av industrigulv og ved valg av gulvkonsept for industrigulv i framtidige byggeprosjekter. Resultatene i rapporten er spesielt relevant dersom alle de fire gulvkonseptene skal vurderes for et industrigulv.

11.10 Kritikk til NB 15 [8]

En stor utfordring i arbeidet med denne rapporten, er at prosjektet som omtales i denne rapporten ikke skal prosjekteres og utføres i henhold til NB15 [8], men at den bare delvis skal etterfølges i utarbeidelsen av rapporten og vurderes opp imot. Dette har gitt en del utfordringer og frustrasjon underveis, og arbeidet med rapporten. Det ville vært mye enklere å gjennomføre, dersom det enten ble bestemt at NB 15 [8] skulle følges helt, eller at den ikke skulle bli benyttet i arbeidet.

Underveis i arbeidet med denne rapporten er det kommet opplysninger om at Mapei AS som er leverandøren av det fiberarmerte gulvkonseptet Mapei Expancrete, er sterkt kritisk til NB 15 [8]. I følge Dan Arve Juvik i Mapei [3], skyldes kritikken i hovedsak at overordnede konklusjoner i publikasjonen ikke er i henhold til øvrige publikasjoner og vanlig praksis. Dette gjelder spesielt for fiberarmert betong, som er det gulvkonseptet Mapei er leverandør av. Videre forklarer han at en trenger ikke å gå lenger enn til Sverige og England, for å finne gode eksempler på publikasjoner og god praksis som ivaretar bruk av fiber i dekkekonstruksjoner.

Dette argumenteres også med mange av fordelene med fiber i betonggulv. Det er for eksempel at disse gulvene er fugefrie, som igjen bidrar til at de er bedre i bruk og mer egnet i forbindelse med ombygging av en bygning [3]. Det innebærer at vegger kan flyttes og plasseres på valgfritt sted, uten å måtte ta hensyn til eventuelle fuger. Når det gjelder bruken av gulvet, vil fugefrie gulv bidra til enklere renhold, en kan unngå å måtte dele inn gulvet i felt ved legging av flis på gulvet. Fugefrie gulv gir et penere estetisk uttrykk av gulvet. I for eksempel bilutstillingslokaler er det for gulv med fuger nødvendig med metallister på gulvet for å dekke over fugene mellom hvert av gulvfeltene. Dette gir et dårlige visuelt uttrykk, spesielt ved bruk av større fliser. Ved bruk av fugefrie gulv kan metallister på gulvet unngås.

Noen flere argumenter for å tillate bruk av fiberarmert betonggulv, er at gulv med fuger har ofte behov for reparasjoner på grunn av blant annet kantroising og at betongen ved fugekanter sprekker opp, løsner og faller ned i fugene ved gjentagende belastning fra trafikk [3].

Oppfordringen til publikasjonskomitéen i Norsk betongforening, er at det som et minimum må gjøres noen endringer, slik at det tillates å benytte betonggulv med fiberarmering [3]. Dette fordi det er et kjent gulvkonsept med en konstruksjonsløsning som gir et gulv uten behov for fuger, og med alle fordelene dette igjen gir.

Som et resultat av den sterke kritikken NB 15 [8] har fått, er det underveis i arbeidet med denne rapporten mottatt opplysning om at det er bestemt at forordet i NB 15 [8] skal skrives om, slik at den nevnte publikasjonen ikke skal gjelde for fiberarmerte betonggulv [7].

11.11 Feilkilder

Noen feilkilder i dette arbeidet er for eksempel ved innhenting av informasjon fra andre personer gjennom samtaler, kan det være en risiko for at noe av det som formidles oppfattes feil. Det er en del usikkerhet knyttet til deler av innholdet i NB 15, da denne nettopp er publisert og ikke alt er like godt overveid før publisering. Videre er det også en del feilkilder knyttet til dimensjoneringen, da det er forskjellige måter å gjøre dimensjoneringen på. Det gjør at det er en viss risiko for å blande formler og spesielt når en mottar muntlig beskjed om å snu om på formlene for at de skal kunne benyttes.

11.12 Videre arbeid

Det finnes enda flere gulvkonsepter som kan være aktuelt å benytte på denne typen gulv. Det kan dermed være mulighet for å vurdere disse opp mot de gulvkonseptene som er evaluert i denne rapporten. Et eksempel på et gulvkonsept som kan evalueres nærmere er etterspent gulv med spennarmering i kombinasjon med fiberarmerarmering og modifisert betong. Skanska har gjennomført et byggeprosjekt i Trondheim med denne typen dekker. Dette dekkekonseptet kalles for CCL-dekke av Thilt Engineering [7]. Konseptet er mest aktuell for tilfeller med større belastninger på dekket, som for eksempel søyler som bærer last fra andre etasjer. Primekss er også leverandør av dette konseptet, og har et pågående prosjekt med dette konseptet i Sør-Afrika [36].

Under arbeidet med denne rapporten kom det fram at gulvkonseptet med tradisjonell armering er mye dyrere enn konseptet med fiberarmering og svinnekompensert betong. Det vil derfor være interessant med en studie om effektivisering og kostnadsreduksjon av gulvkonseptet med tradisjonell armering. I en slik studie vil det blant annet være aktuelt å vurdere bruk av rullearmering i stedet for nettarmering. Rullearmering har en innkjøpspris som er 10-15 % høyere enn tradisjonell slakkarmering [52]. Likevel vil det sannsynligvis være lønnsomt å velge denne typen armering, fordi kan oppnås en betydelig reduksjon i arbeidstiden for

utlegging av armering sammenlignet med slakkarmering. Ifølge *Kompendium TBA4130 Produksjonsteknikk i BA, Grunnarbeider og plasstøpt betong* [53] kan arbeidstiden reduseres med 80 %, mens ifølge Grønvold referert i TU [52] kan det armeres to til tre ganger raskere med rullearmering. En besparelse i arbeidstid vil medføre reduksjon i lønnskostnadene, men det bør undersøkes nærmere om dette fortsatt vil kompensere for økt pris på armeringen. Rullerarmring vil ha en fordel når det gjelder HMS, ved at det kan gi færre belastningsskader på grunn av at arbeiderne vil få mindre bøyning og kryping [52].

En annen aktuell studie er å evaluere metoder for prøvetester av fiberarmert betong. Det kan ses på flere metoder eller begrense til kun én prøveforsøksmetode. Det vil være spesielt interessant med en studie om den «tradisjonelle» prøvetestmetoden, der det blant annet gjennomføres mange flere testforsøk for å få mer informasjon om variasjonen av resultatene. Dette for å få bekreftet om denne testmetoden er god nok, og om det er mulig å forbedre denne.

Fiberarmert betong er billigere og kan utføres raskere i forhold til tradisjonelt nettarmert betonggulv og etterspent dekke. Hovedårsaken til dette er at det ikke skal legges ut armering før gulvet skal støpes. Stålfibrene kan tilsettes i betongblandingen på betongstasjon eller direkte i trommelen på betongbilen på byggeplassen like før betongen skal støpes [7].

Bruk av nettarmering og spennarmering kan bidra til logistikkproblemer, spesielt på trange byggeplasser. Dette skyldes at disse armeringstypene krever stor lagringsplass, og derfor bør det avklares på forhånd hvor armeringen kan lagres ved ankomst byggeplass. I motsetning til disse armeringstypene kreves det mindre lagringsplass for stålfiberarmering, som har lite tverrsnitt, kort lengde og leveres i stort antall med lite hulrom mellom disse. Både spennarmering og nettarmering har større tverrsnitt og har et forholdsvis stort volum på grunn av store hulrom mellom armeringsenhetene ved lagring og transport [25].

På grunn av at det ifølge NB 15 [8] er usikkerhet knyttet til formler for kontroll av kapasiteten til gulv i plastisk tilstand, bør det absolutt gjennomføres undersøkelser av disse formlene og videreutvikle mer nøyaktige formler for kapasitetskontroll av gulv på grunn i plastisk tilstand.

I forbindelse med arbeidet med denne rapporten er NB 15 [8] lest grundig. Etter lesingen er denne publikasjonen vurdert godt, og denne vurderingen har resultert at det bør gjennomføres en praktisk studie der det gjøres undersøkelser og forsøk med punktlaster på fiberarmert betong, for å finne skjærkapasiteten til gulv på grunn med fiberarmering, spesielt i forhold til punktlaster. Dette med bakgrunn i at det står skrevet følgende på side 36 i NB15 [8]: «...er

det nærliggende å tenke seg at det må være en minimum fibermengde for å få til den omfordelingen av krefter som trengs for å få utviklet skrårissene». I denne teksten kommer det fram at det er uklart om det må være en minimum fibermengde for at det skal kunne utvikles skråriss. Det vil være positivt å få dette avklart, for å bli kvitt denne synsingen i publikasjonen. En publikasjon bør ha en tekst med et tydelig budskap og minst mulig synsing.

12 Konklusjon

Etter å ha gjennomført en evaluering av de fire alternative gulvkonseptene, er det kommet fram at alle de fire konseptene kan være fullt brukbare for industrigulv som skal ha samme funksjon som gulvet i logistikklageret til Bertel O. Steen. Alle konseptene vil kunne gi et industrigulv med forholdsvis høy brukskvalitet og høy styrke.

Uansett hvilket gulvkonsept som velges, vil altså byggherren kunne få overlevert et gulv fra entreprenøren med høy kvalitet, vil oppfylle den planlagte funksjonen og oppfylle ønsket fra byggherren om at gulvet skal være tilnærmet rissfritt.

Det som utgjør den største forskjellen mellom konseptene er i hovedsak kostnadene. Gulvkonseptet Primekss Industrigulv er helt klart det billigste alternativet, mens tradisjonelt nettarmert er det dyreste. Før det skal velges et bestemt konsept, er det viktig å undersøke dimensjoneringsprinsippet til det aktuelle konseptet, for å kontrollere at dimensjoneringen av gulvet er tilstrekkelig.

Etterspent gulv er det eneste konseptet som kan gi varige riss- og fugefrie gulv. Primekss Industrigulv er i tillegg det mest effektive å produsere.

13 Referanser

- [1] Gjerp, P., Injar, J., Kristiansen, B., Maage, M., et al. (2015) *Betong -Regelverk, teknologi og utførelse*. 1. utgave: Norsk Betongforening, Byggenæringens Forlag AS.
- [2] Arkitektene, A.&H. (2017) *Bergerområdet-felt C, Oppføring av lager-/logistikkbygg med tilhørende kontorer - Søknad om rammetillatelse*.
<https://www.bergerbygg.no/wp-content/uploads/2017/08/Rammes%C3%B8knad.pdf>
- [3] Juvik, D.A. (2018) *Manager Concrete Industry*
- [4] AS, S.N. (2017) Skanska bygger for Bertel O. Steen. Hentet fra:
<https://www.skanska.no/hvem-vi-er/media/pressemeldinger/210484/Skanska-bygger-for-Bertel-O.-Steen>. (Lest 14.03.2018)
- [5] Førde, H. (2017) Bygger 18.000 kvadratmeter for Bertel O. Steen. Hentet fra:
<http://www.tungt.no/logistikk/detaljer-om-logistikkbygg-til-bos-fra-skanska-3711390>. (Lest 14.03.2018)
- [6] Berg, I. (2018) *Produksjonsleder, Skanska*
- [7] Smeplass, S. (2018) *Proff. II NTNU/Skanska Norge AS*
- [8] Bondestad, O., Cielicki, T., Eikemo, K., Eriksen, D., et al. (2017) *Publikasjon nr. 15 Betonggulv -Gulv på grunn og påstøp*: Norsk Betongforening.
- [9] Standard Norge. (2013) *NS-EN 206:2013+A1:2016+NA:2017 Betong: Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar*.
- [10] Sørensen, S.I. (2013) *Betongkonstruksjoner - Beregning og dimensjonering etter Eurocode 2*. 2. utgave, Bergen: Fagbokforlaget.
- [11] Sintef Byggforsk. (2004) *522.117 Industrigolv av betong på grunnen*.
- [12] Standard Norge. (2002) *NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurokode 0: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner*.
- [13] Standard Norge. (2002) *NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2008 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner Del 1-1: Allmenne laster Tetthet, egenvekt, nyttelaster i bygninger*.
- [14] Standard Norge. (2008) *Norsk Standard NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 Eurokode 2: Prosjektering av konstruksjoner Del 1-1: Almene regler og regler for bygninger*.
- [15] Standard Norge. (2010) *Norsk Standard NS-EN 13670 2009+NA2010 Utførelse av betongkonstruksjoner*.
- [16] Standard Norge. (2005) *NS-EN 1504-1 Produkter og systemer for reparasjon av betongkonstruksjoner. Definisjoner. krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar. Del 1: Definisjoner*.

-
- [17] Standard Norge. (2008) *NS 3420 Del F: Grunnarbeid - Del 1 pkt. FS2 - Utlekking av løsmasser i lag.*
- [18] Standard Norge. (2010) *NS 3420-L:2010 Beskrivelsestekster for bygg, anlegg og installasjoner, Del L: Betongarbeider.*
- [19] Standard Norge. (2007) *NS-EN 14651:2005+A1:2007 Prøvmingsmetode for betong med metalliske fibere. Måling av bøyestrekkefasthet (proporsjonalitetsgrense og reststrekkefastheter).*
- [20] Kompen, R., Nordbotten, G., Myhr, B.P., Lindstrand, T., et al. (2016) *Publikasjon nr. 14 Spennarmeringsarbeider* Oslo: Norsk Betongforening.
- [21] Byggkvalitet, D.f. (2013) Forskrift om byggesak (Byggesaksforskriften, SAK 10) (Direktoratet for byggkvalitet). Hentet fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-03-26-488?q=forskrift%20om%20byggesak>. (Lest 10.03.2018)
- [22] K.o. Moderniseringsdepartementet. (2010) Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift, TEK 10). Hentet fra: <https://lovdata.no/dokument/SFO/forskrift/2010-03-26-489>. (Lest 10.03.2018)
- [23] Direktoratet for byggkvalitet. (2016) Veiledning til byggteknisk forskrift (TEK 10). Hentet fra: <https://dibk.no/byggereglar/tek/>. (Lest 05.04.2018)
- [24] Gjerp, P.J. (2001) *Betonggulv - Funksjon, utførelse og overflatebehandling.*
- [25] Sintef Byggforsk. (2003) *522.111 Betonggulv på grunnen.*
- [26] Stemland, H. (2018, *Norsk Betongforening publikasjon nr. 15 Betonggulv - Gulv på grunn. Åpent faglig møte.* Trondheim.
- [27] Lindland, J.r. (2016) *Betongrehabilitering - Reparasjonsmetoder, utførelse og kontroll.* 1. utgave: Norsk forening for betongrehabilitering.
- [28] Smith Stål. (u.å.) Fakta om stål. Hentet fra: <https://www.smithstal.no/aktuelt-/fatka-om-stal/>. (Lest 30.05.2018)
- [29] Knippa, L.-E. (2017) *Armering og praktisk jernbinding.*
- [30] Kanstad, T. (2018) *Professor, Institutt for konstruksjonsteknikk, NTNU*
- [31] Sælen, H. (2018) *Konstruktør, Skanska AS*
- [32] Trygstad, S. (2016) Etterspente fiberarmerte flatdekker (Video). Hentet fra: <https://bygg.tekna.no/betonggulv-og-etasjejkillere/>. (Lest 10.06.2018)
- [33] AS, M. (2013) *Produktbeskrivelse Mapei Expancrete.*

- [34] Leirem, I. (2017) *Program VU-seminar 2017*. Norsk Betongforening, Hentet fra: <https://betong.net/wp-content/uploads/PROGRAM-VU-seminar-2017.pdf> (Lest 10.05.2018)
- [35] Primekss (2017) Primekss Slab on Ground. Hentet fra: <http://www.primekss.com/en/products/main-concrete-products/slab-on-ground>. (Lest 05.02.2018.2018)
- [36] Kļaviņš, G. (2018) *Sales Manager, Primekss Norge AS*
- [37] Trygstad, S. (2018) *Thilt Engineering AS*
- [38] Limited, P. (2016) *alphajoint classic 4010*. Devon:
- [39] D.f.b.-K.F.o.t.-.O.i. (2016) Byggesakforskriften (SAK10), tiltaksklasser. Hentet fra: <https://dibk.no/byggeregler/sak/3/9/9-4>. (Lest 10.06.2018)
- [40] Steen, B.O. (2017) *Kravspesifikasjon for BOS Logistikk sin leie av lokaler i nybygg på Berger*.
- [41] Unicon.AS (u.å.) *Gulvbetong -Gjør det enkelt med Unicon Gulvbetong!* Oslo: Hentet fra: http://www.unicon.no/media/brosj_gulvstoep.pdf (Lest 12.03.2018)
- [42] Norge, S. (2005) *NS-EN 3576-4 Armeringsstål - Mål og egenskaper - Del 4: Sveiste armeringsnett*.
- [43] Betongopplæringsrådet (2015) Kompetansekrav betongutførelse NS-EN 13670:2009-NA:2010. Hentet fra: <https://betongopplaering.no/wp-content/uploads/2015/01/150214-Kompetansekrav-U-etter-fjerning-av-oppdateringskurs.pdf>. (Lest 20.05.2018)
- [44] D.B. AS (u.å.) Støpeveiledning. Hentet fra: <http://digernesbetong.no/veiledning.htm>. (Lest 15.04.2018)
- [45] Flooring, P.I.C. (2017) Primekss | Seamless Concrete Floors. Hentet fra: https://www.youtube.com/watch?time_continue=78&v=BBBv-NVsHBU. (Lest 28.01.2018)
- [46] Florryng, P.I.C. (2012) Primekss PrimeComposite | Industriäläs betona grīdas (LV). Hentet fra: <https://www.youtube.com/watch?v=2coupzowQbU>. (Lest 28.01.2018)
- [47] Standard Norge. (2014) *NS 3420-1:2014 Beskrivelsestekster for bygg, anlegg og installasjoner Del 1: Fellesbestemmelser*.
- [48] Alvær, R.M. (2012) *Betongteknologi*, HiB, Bergen.
- [49] Norcem (u.å.) Norcem Kundesenter. Hentet fra: <https://www.norcem.no/no/kundesenter>. (Lest 06.06.2018)

- [50] Juvik, D.A. (2016) Fiberarmering (Video). Hentet fra: <https://bygg.tekna.no/betonggulv-og-etasjeskillere/>. (Lest 10.06.2018)
- [51] Nave, R. (u.å.) Friction. Hentet fra: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/frict.html#fri>. (Lest 29.05.2018)
- [52] Ukeblad, T. (2010) Armeringsstål på rull. Hentet fra: <https://www.tu.no/artikler/armeringsstal-pa-rull/253065>. (Lest 27.02.2017)
- [53] Jacobsen, T. (2014) *Kompendium TBA4130 Produksjonsteknikk i BA. Grunnarbeider og plasstøpt betong* Trondheim: NTNU.

Vedlegg

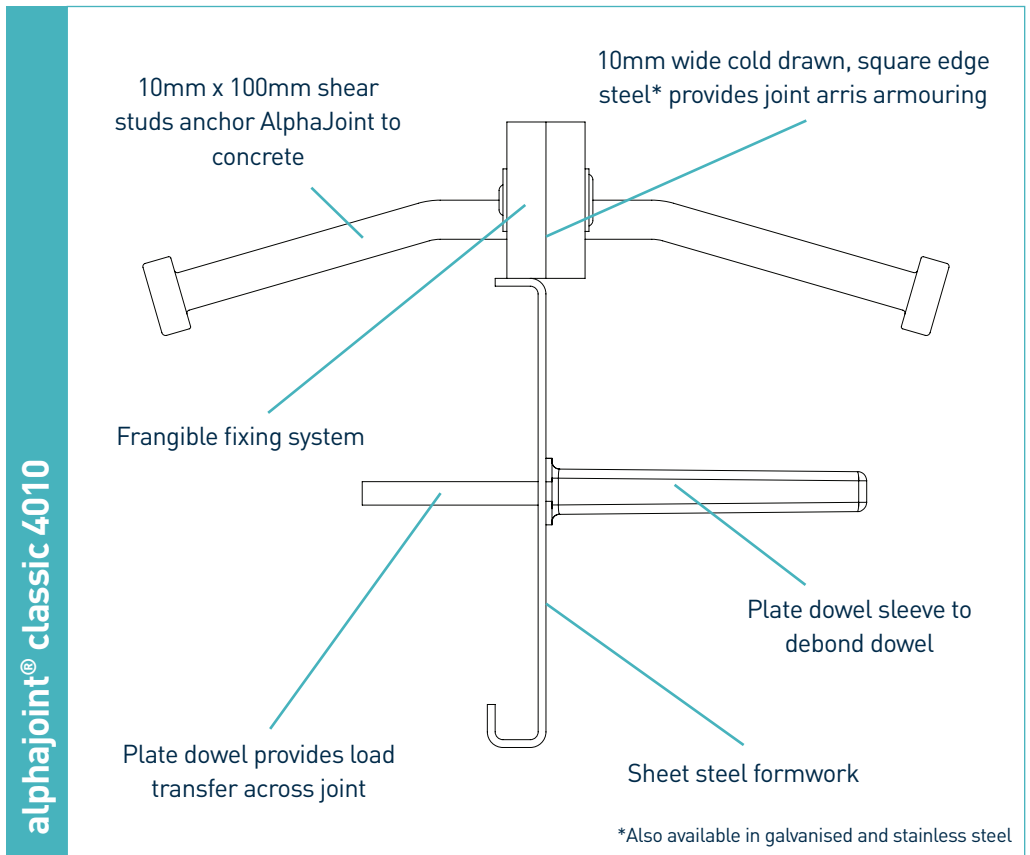
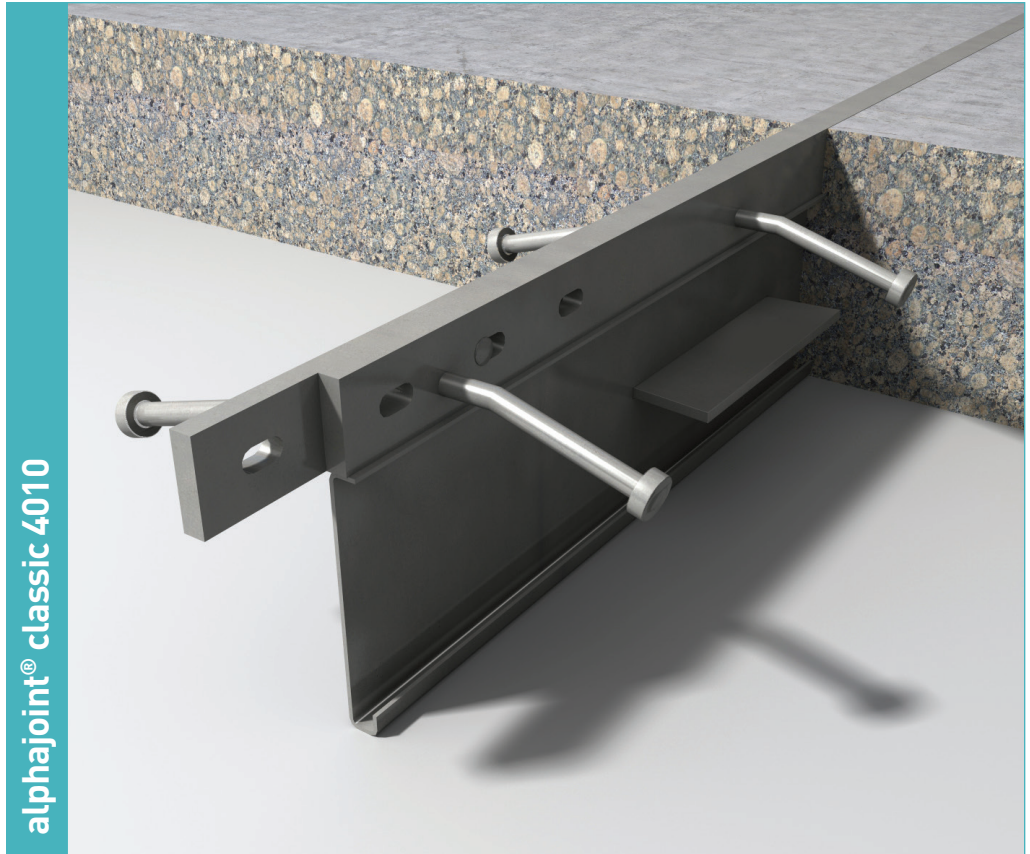
Innholdsfortegnelse

Vedlegg A:	Produktinfo «Alphajoint classic 4010, Permaban»	2
Vedlegg B:	Dimensjonering av Primekss Industrigulv.	5



alphajoint® classic 4010

Specification Sheet
Issue 3.2
18/02/2016



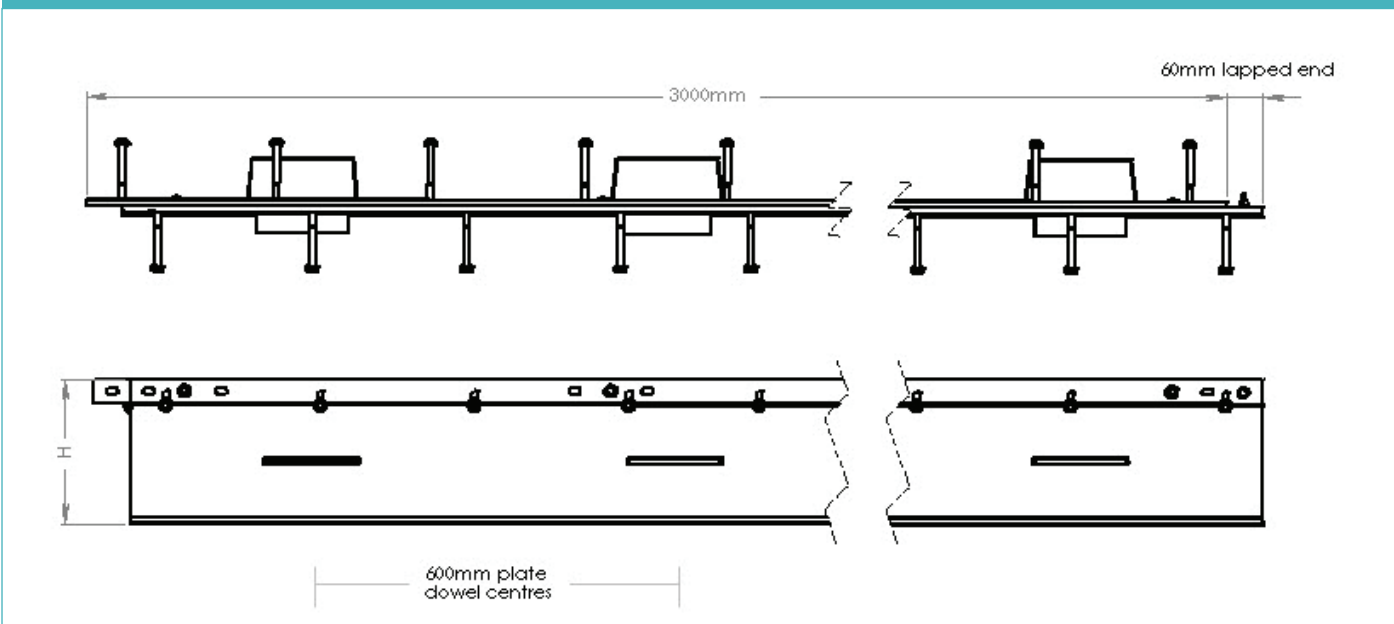
alphajoint[®] classic 4010

Specification Sheet Issue 3.2
 18/02/2016

manufacturing tolerances

Length	±2.0mm	Height	±1mm	Straightness	±0.5mm/600mm
---------------	--------	---------------	------	---------------------	--------------

dimensions of alphajoint[®] classic 4010



dimensions and weight of alphajoint[®] classic 4010

Nominal Slab Depth (mm)	Joint Height, h (mm)	Dowel Size (mm)	Dowel Centres (mm)	Length (mm)	Single Joint Weight (kg)	Number Per Bundle	Weight per bundle incl packaging @ 148 kg
150	130	151 x 120 x 8	600	3000	29.1	45	1458 kg
170	150				30.3	42	1421 kg
190	175				32.0	42	1492 kg
210	200				33.0	35	1303 kg

Typical height and length values shown only. Weight values shown are based on Alphajoint[®] Classic 4010 including TD6 dowels and are approximate.

materials

Component	Material
Joint arris armouring (4010)	BS 070M20
Sheet steel formwork	BS EN 1030:1999 DC01
Shear stud	S275JR or equivalent
Plate dowel	BS EN 10025-2:2004 S275JRG2 min 410 N/mm ² tensile strength
Plate dowel sleeve	HDPP

alphajoint[®] classic 4010

Specification Sheet Issue 3.2
 18/02/2016

theoretical calculated ultimate loads at failure of dowel or concrete

(For typical slabs, 40N/mm² concrete and 20mm joint opening)

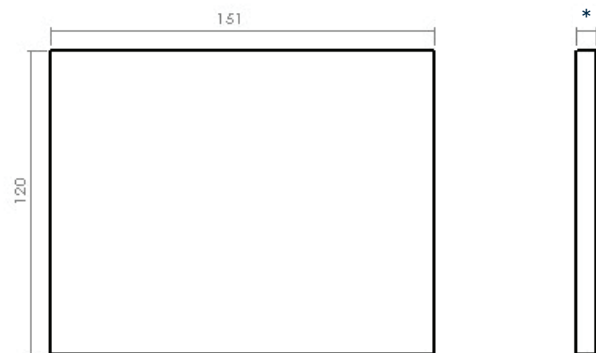
Slab Depth (mm)	Dowel Type	Unreinforced Slab	
		Bursting (kN/m)	Bending (kN/m)
150	TD6	31.2	53.4
	TD8	31.2	87.2
	TD10	31.2	124.7
175	TD6	40.0	53.4
	TD8	40.0	87.2
	TD10	40.0	124.7
200	TD6	49.9	53.4
	TD8	49.9	87.2
	TD10	49.9	124.7
225	TD6	60.7	53.4
	TD8	60.7	87.2
	TD10	60.7	124.7
250	TD6	72.4	53.4
	TD8	72.4	87.2
	TD10	72.4	124.7
275	TD6	85.6	53.4
	TD8	85.6	87.2
	TD10	85.6	124.7
300	TD6	86.9	53.4
	TD8	86.9	87.2
	TD10	86.9	124.7

Ultimate load (kN/m)

This table shows the load at failure in bursting (failure of the concrete) and bending (failure of the dowel) for a joint opening of 20mm - larger joint openings can be accommodated. The ultimate load has been calculated in accordance with TR34 4th Edition. Dowel position taken at mid depth of slab. For more detailed analysis please contact Permaban.

*All design calculations should be verified by a suitably qualified structural engineer.

compatible dowel systems



Dimensions in mm

*Available in 6, 8, 10mm

DD is not available in the following territories: Mexico, Canada, USA, Australia and New Zealand.



All content found within this datasheet is approximate. Permaban Ltd reserves the right to amend this datasheet at any time. For further details, please contact Permaban Ltd. Permaban Ltd is registered in England & Wales - No. 02815314.



Primeteh AS
 Reg. Nr. 40003997182
 Gustava Zemgala gatve 76, Riga LV-1039, Latvia
 Phone: +371 67801120, Fax +371 67801123
design@primekss.com

BETTER CONCRETE THROUGH RESEARCH

Static calculations
 plastic design of industrial floors
 using steel fibers HE 75/50
 including PrīmXComposite shrinkage reducing technology
 design based on Yield Line Theory according to K.W.Johansen

v1.2

Project name: BOS Berger
Customer: Skanska
Country: Norway
Date: 29.11.2017
Design executed at Primekss SIA by:

MS

Customers data

Strength characteristics for concrete:

- concrete grade:
- characteristic cylinder strength f_{ck} :
- Young's modulus E_{cm} :
- mean tensile strength f_{ctm} :
- characteristic axial tensile strength $f_{ctk,0.05}$:
- flexural tensile strength of concrete $f_{ctk,fl}$:

C30/37	$w/c < 0.55$	B30- M60
30 MPa		
32837 MPa	$E_{cm} = 22[(f_{ck} + 8)/10]^{0.3}$	
2.90 MPa	$f_{ctm} = 0.3f_{ck}^{2/3} \leq C50/60$	
2.03 MPa	$f_{ctk,0.05} = 0.7f_{ctm}$	
4.06 N/mm ²	$f_{ctk,fl} = [1 + (200/h)^{0.5}] f_{ctk,0.05} \leq 2f_{ctk,0.05}$	

EN 206

EN 1992-1-1, tab 3.1

TR34 3rd, Eqn. 9.1

Fibers:

- fibre type:
- fibre diameter:
- fibre length:
- current fiber material safety factor:
- fibre tensile strength:
- fibre dosage rate:

HE 75/50
0.75 mm
50 mm
1
1100 MPa

Slab data:

- slab thickness h :
- placement of slab:
- slab weight $G_{k,slab}$:
- Poisson's ratio of the slab ν :

40 kg/m³
PrīmXComposite
170 mm
Inside
4.1 kN/m ²
0.15

Safety coefficients:

- self weight of slab γ_G :
- material safety factor γ_c :
- for racking γ_{Q1} :
- for dynamic loads γ_{Q2} :

1.35	} 2.03 overall safety factor
1.50	
1.35	} 2.16 overall safety factor
1.60	

Yield line moments:

- Plastic tensile stress σ_{pl} :
- design moment resistance M_{Rd} :

2.70 N/mm²	obtained from full scale round indetermined plate tests
23.4 kNm/m	$M_{Rd} = 0.45 \times \sigma_{pl} \times h^2 / \gamma_c$

Loading data

Rack load (PL):

- single rack leg load P_k :
- baseplate dimensions $a \times b$:
- contact pressure:
- distance between pointloads z :

180 kN
150 # 150 mm
8.00 N/mm²
350 mm

For back-to-back situation

360 kN

Uniformly Distributed Load (UDL):

- unfactored UDL $Q_{k,udi}$:

30 kN/m²

Line load (LL)

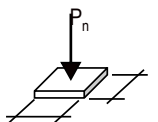
- unfactored LL $P_{lin,k}$:

--

Industrial floor load class:

- capacity:
- wheel load $Q_{k,FL}$:
- contact pressure p :

FL4
10.0 tons
45 kN/wheel
1.4 N/mm²



Truck load

- capacity:
- wheel load $Q_{k,FL}$:
- type of wheel
- contact pressure p :

Twin wheel

Soil data:

- modulus of subgrade reaction k :
- EV2 and EV1-values:
- modify subgrade with granular subbase:

Ev2=100 MPa
Ev2/Ev1=2.2
No

- resulting modulus of subgrade reaction k_{sub} :

0.083 N/mm ³
No

Insulation:

- type of insulation:
- thickness h_{ins} :
- long-term compressive strength σ_{insul} at 2%:
- long-term modulus of elasticity E_{ins} :
- subgrade reaction k-value of insulation k_{ins} :
- resulting subgrade reaction of system k_{res} :

0.083 N/mm³ $k_{ins} = E_{ins}/h_{ins}$
 $k_{res} = k_{sub} \times k_{ins} / (k_{sub} + k_{ins})$

Stiffness:

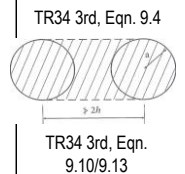
- radius of relative stiffness of concrete slab l_r :

639 mm $l_r = [E_{cm} \times h^3 / 12(1 - \nu^2) \times k_{res}]^{0.25}$

Load Case "Point load"

- equivalent radius of contact area of load a_r :
- ultimate design load P_d :
- failure load check if $a_r/l_r=0$:
- failure load check if $a_r/l_r>0,2$:
- failure load check P_{Rd} for $a_r/l_r = 0.13$
- design check:

84.6 mm $P_d = \gamma_{Q1} \times P_k$
 243.00 kN
 147.08 kN
 307.76 kN
 253.53 kN
 $P_d < P_{Rd}$ design condition is ok!

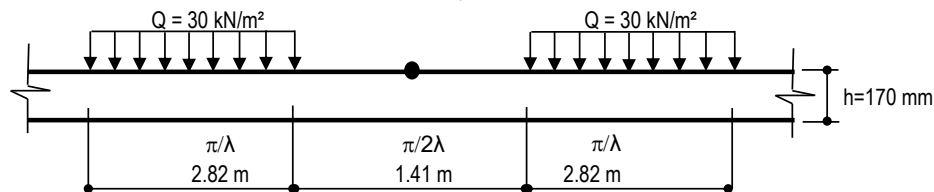


Load Case "Uniform distributed load"

- moment at first crack M :
- the critical width λ :
- for a critical width $\pi/2\lambda$ resulting max moment M_c :
- corresponding stress σ :
- the load capacity per unit area Q_{Rd} :
- design check:

25.3 kNm/m' $M = (f_{ctk,fl} + 1,2) \times (h^2 / 6)$
 1.11 m $\lambda = [3 \times k_{res} / E_{cm} \times h^3]^{0.25}$
 4.62 kNm/m' $M_c = 0,168 \times (Q_{k,UDL} + G_{k,slab}) \times [E_{cm} \times h^3 / 3 \times k_{res}]^{0.5}$
 0.96 N/mm² $\sigma = 6M_c / h^2$
 186.7 kN/m² $Q_{Rd} = 5,95 \times \lambda^2 \times M$
 $Q_k < Q_{Rd}$ design condition is ok!

TR34 3rd, Eqn. 9.6
 TR34 3rd, Eqn. 9.15
 TR34 3rd, Eqn. 9.19



Load Case "Wheel load"

Forklift:

- equivalent radius of contact area of load a_r :
- ultimate design load $Q_{d,FL}$:
- width of axle z :
- failure load check if $a_r/l_r=0$:
- failure load check if $a_r/l_r>0,2$:
- failure load check P_{Rd} for $a_r/l_r = 0.16$
- design check:

101.6 mm $a_r = Q_{k,FL} / (\pi \times p)^{0.5}$
 72.0 kN $Q_{d,FL} = \gamma_{Q2} \times Q_{k,FL}$
 1200 mm if $z > 2h$, dual point load case
 226.25 kN
 317.91 kN
 299.12 kN
 $Q_{d,FL} < Q_{Rd}$ by interpolation
 design condition is ok!

TR34 3rd, Eqn. 9.10/9.13

Truck:

- equivalent radius of contact area of load a_r :
- ultimate design load $Q_{d,truck}$:
- width of axle z :
- failure load check if $a_r/l_r=0$:
- failure load check if $a_r/l_r>0,2$:
- failure load check Q_{Rd} for $a_r/l_r =$
- design check:

2000 mm $a_r = Q_{k,FL} / (\pi \times p)^{0.5}$
 279.03 kN $Q_{d,truck} = \gamma_{Q2} \times Q_{k,truck}$
 294.17 kN if $z > 2h$, dual point load case
 279.03 kN
 $Q_{d,truck} < Q_{Rd}$ design condition is ok!

Load Case "Line load"

- moment at first crack M :	25.3 kNm/m'	$M=(f_{ctk,fl}+1,2) \times (h^2/6)$	TR34 3rd, Eqn. 9.6
- the critical width λ :	1.11 m	$\lambda = [3 \times k_{res}/E_{cm} \times h^3]^{0,25}$	TR34 3rd, Eqn. 9.15
- positive moment line load capacity $P_{R,lin,p}$	113 kN/m	$P_{R,lin,p} = 4 \lambda M_p$	TR34 3rd, Eqn. 9.16
- design check:	$P_{lin,d} < P_{R,lin,d}$	design condition is ok!	

the calculations are ok!

PrimekssLabs solution

including PrimXComposite shrinkage reducing technology

Concrete grade:	C30/37
Type of fibre:	HE 75/50
Fibre dosage rate:	40 kg/m³
Slab thickness h:	170 mm
Distance between joints:	∞

Notes: