

Kollaps af Rødovre Skøjtehal

Indledning

Den 14. januar 2009 kollapser gitterspær, betondæk og vægge under monteringen på ny skøjtehal i Rødovre, Rødovre Parkvej 425.

Nedenstående betragtninger er et resultat af SBI's gennemgang af sagen. Det er blevet til ud fra to besøg på byggepladsen d. 29. jan. 2009 samt 2. feb. 2009, fotografier modtaget af Rødovre kommune, dokumenter modtaget fra arbejdstilsynet, pressens dækning samt udsagn fra folk på pladsen. Herefter er forskellige hypoteser diskuteret, og der er gennemført supplerende statiske beregninger. I bilag A er vist en plantegning, hvortil der efterfølgende refereres.

Situationen på ulykkestidspunktet

På ulykkestidspunktet er hallens vægge (gavle og facader), bestående af betonelementer, opstillet. Disse er fastholdt af elementstøtter, som er fastgjort i terræn til et midlertidigt udstøbt sribefundament. Mellem modullinie C og D og mellem modullinie F og G er facaden dog ikke monteret for at skabe adgangsvej for den kran, som skal montere huldæk.

I modullinierne B til H er monteret gitterdragere. Disse står i udsparinger i betonelement-facaderne. Gitterdragere er ved hjælp af kiler styret mod simpel væltning i udsparingerne.

Alle huldæk mellem modullinierne G og I og mellem modullinierne D og F er monterede. Tre dækelementer er monteret mellem linie F og G ved facaden i linie 1. Huldækkene ligger løst med et vederlag på skønsmæssigt 50 mm. Huldækkene ligger direkte af på den malede ståloverflange.

Alle gitterdragere er forbundet i overflagen med en gennemgående afstivning på langs af hallen, som vist i bilag A. Afstivningen er et firkantet stålprofil som boltes på gitterdragere. Afstivningen er placeret midt på gitterdragere undtagen mellem modullinie F og G, hvor kranen er placeret. I dette modul er afstivningen flyttet ud til siden som vist i bilag A. Imellem modullinie A og B og mellem H og I er dog ikke anvendt stålprofiler men stropper. Stropperne er fastgjort til gavlelementerne.

Kollapset

Efter det oplyste sker svigtet i forbindelse med, at afstivningen mellem modullinie C og D blev fjernet. Ved svigtet falder gitterdragere i linie D, E og F ned samt stort set alle huldæk, herunder også i området mellem linie G og I. Gavlen i linie I og den del af facaden i linie 4, der er beliggende mellem linie D og F, vælter ud. Efter kollapset hænger afstivningen stadig i kranen. Afstivningen er kraftigt deformeret.

Afdelingen for Byggeri og Sundhed
Erik Steen Pedersen
Jørgen Nielsen
Niels-Jørgen Aagaard

13. marts 2009
Journal nr. 721-118



Figur 1: Foto fra byggepladsen, 29. jan. 2009, ©SBI.

Venstre: Kollaps i linie D-F. Gitterspær og betondæk faldet ned.

Højre: Kollaps i linie G+H. Gitterspær intakte. Betondæk faldet ned bortset fra enkelte elementer

Analyse

Analysen er gennemført ved at betragte den trykkede overflange i gitterdragene som en søjle, der kun er fastholdt mod vandret stabilitetssvigt af den ovenfor omtalte afstivning på langs af hallen. En fuld kipstabilitets-analyse af spærene omfatter dels en stabiliserende virkning fra vridningsstivheden dels et væltende moment hidrørende fra at lasten angriber i spærets overside. Overslagsberegninger har vist at søjlemodellen i det aktuelle tilfælde giver en tilstrækkelig god tilnærmelse.

I den færdige konstruktion sker der en fuld fastholdelse vha. gitterflangens stritter, som støbes sammen med dæskiven, men forholdet skal iagttages under udførelsen.

I gitterdragernes overflange er der tryk fra bøjningspåvirkningen hidrørende fra huldækkenes egenvægt. Overflangen kan således nå sin kritiske last, hvis trykket efter oplægning af elementer bliver for stort og den tværgående støtte ikke er i stand til at sikre stabiliteten. Gennem tværafstivningen er nogle af spærene koblet sammen, så der også er mulighed for at en større eller mindre del af konstruktionen samlet indgår i et stabilitetssvigt – i det følgende kalde gruppesvigt. Ved gruppesvigt vil spær som ikke er i kritisk tilstand bidrage positivt til bæreevnen af kritisk belastede spær. Til gengæld vil gruppesvigt give mulighed for større kritisk længde af de trykkede flanger, fordi fastholdelsespunkter samlet kan indgå i bevægelsen.

Stabilitetssvigt sker pludseligt, idet bæreevnen stort set forsvinder i det øjeblik svigtet mobiliseres.

Der er foretaget beregninger med realistiske data for laster og bæreevner i tre situationer:

- Spærenes individuelle bæreevne
- Gruppesvigt lige før demontering af afstivning
- Gruppesvigt lige efter demontering af afstivning

Spærenes Individuelle bæreevne

Kræfterne i gitterdragernes overflange hidrørende fra egenvægt af konstruktionen fremgår af nedenstående tabel.

Gitterdrager	Kraft i overflange [MN]
Linie B og C	0 *)
Linie D, F og G	1,09 **)
Linie E og H	1,91

*) Der er her set bort fra spærets egenvægt

***) For spærene F og G er belastningen i virkeligheden lidt større, fordi der er lagt nogle få elementer op imellem spærene F og G, nærmest væggen i modullinie 1

Table 1. Kræfter i spærenes overflanger.

Med den anvendte afstivnings geometri er den uafstivede længde højst 50% af gitterdragernes spændvidde. Beregninger viser, at overflangen dermed maksimalt kan have en teoretisk bæreevne på 1.84 MN. Gitterdragerne i linie E og H er, jf. tabellen, belastet lige over den kritiske bæreevne (1.91 MN > 1,84 MN).

I praksis er der dog mulighed for at mobilisere friktion i vederlagene mellem betonelementerne og drageren, således at der overføres kræfter af ukendt størrelse fra f.eks. linie E til linie D og F, som ikke er i en individuel kritisk tilstand. For bjælken i linie H gælder at denne kan være støttet af gavlen via friktion i dækelementernes vederlag.

Disse forhold kan begrunde at de enkelte dragere ikke svigtede individuelt, allerede mens afstivningen var aktiv.

Situationen før afmontering af afstivning

Udover at den enkelte gitterdrager kan svigte, kan der også ske et gruppesvigt. Hvis de 3 dragere D, E og F sammen knækker ud mod facaden i linie A (se bilag B), er de kun afstivet af tværstivheden af (de ubelastede) gitterdragere i linie B og C, da stroppen mellem linie A og B ikke kan optage trykkræfter. Når der sker et gruppesvigt, mobiliseres der heller ikke væsentlige friktionskræfter via betondækkene, idet disse indgår i den samlede bevægelse. Beregninger viser at konstruktionen er cirka 50 % overbelastet når den regnes ideelt oplagt og uden forhåndsexcentriciteter.

Grunden til at der ikke er sket et svigt i denne situation tilskrives det forhold at tilfældige skævheder i oplægningen har ført til at tendensen til udknækning ikke er i samme retning for alle de tre spær, eller at tendensen til udknækning er væk fra linie A, således at stroppen ved linie A bliver trækpåvirket og forhindrer svigtet.

For dragerne i linie G og H kan gøres tilsvarende betragtninger i det stroppen ved linie I, i sagens natur heller ikke kan optage trykkræfter, se bilag B.

Den samlede konstruktion må karakteriseres som værende i labil ligevægt, hvor det forhold, at den bliver stående, må tilskrives at de enkelte dragere ikke har fundet sammen i én fælles udbøjningsretning, hvilket dels må betegnes som en tilfældighed, dels ikke kan betragtes som en permanent tilstand, idet tilfældige rystelser eller en mindre horisontal påvirkning et sted i systemet, vil kunne udløse et stabilitetssvigt. Alt i alt vurderes det, at sikkerheden i en tid op til svigtet har været langt fra det niveau, der foreskrives for bærende konstruktioner.

Situationen efter afmontering af afstivning

Her betragtes situationen, hvor tværafstivningen mellem overflangerne i spærene i modullinierne C og D er fjernet, se bilag C.

Som nævnt ovenfor var situationen allerede kritisk før afstivningen blev fjernet. Den tilstand forværres yderligere, idet et træk i stroppen ved linie A nu ikke kan udnyttes ligesom der ikke kan mobiliseres modstand fra udbøjningen af spærene i linierne B og C. Beregninger viser at konstruktionen herved bliver overbelastet med mere end 100 %.

Det vurderes, at spærene i modullinierne fra D til F i forbindelse med afmonteringen af tværafstivningen finder sammen i en fælles udbøjningsretning.

Før afstivningen blev fjernet, udeblev et svigt (se foregående afsnit) fordi stroppen ved linie A var trækpåvirket eller fordi tilfældigheder i geometrien for spærene og for oplægningen forhindrer de 3 dragere i at knække ud til samme side.

- Hvis årsagen til det udeblevne svigt før afmontering af afstivningen, var at stroppen ved linie A var trækpåvirket, har dragerne bevæget sig mod den modsatte gavl da afstivningen blev fjernet.
- Hvis svigtet derimod udeblev på grund af tilfældigheder i opstillingen kan en lille påvirkning af drageren i linie D, som led i afmonteringen have udløst svigtet.

Da konstruktionen henstod i en labil ligevægt kan det ikke afgøres om det var den ene eller anden hændelse, eller en kombination, som var den udløsende faktor.

Gitterdragererne i linie G og H er jf. ovenstående allerede i en latent svigttilstand.

Vurdering

Beskrivelser af hvor pludseligt kollapse finder sted, tyder på, at der er tale om et stabilitetssvigt begyndende med midtersektionen (linie D, E og F). Herved er store mængder energi frigjort og vibrationer sendt rundt i bygningen, hvorved væggen i midtersektionen vælter. Enten ved vibrationerne eller gennem afstivningen imellem linie F og G påvirkes gruppen i området mellem linie G og I, så også spærene her finder sammen i et gruppesvigt, der også involverer gavlen.

Tidspunktet for kollapse understøtter hypotesen om, at den udløsende faktor har været, at afstivningen er forsøgt fjernet. Det fremgår dog af beregningerne, at flere gitterdragere formentlig har været i en latent risiko for sammen at udvikle et kritisk gruppesvigt allerede under montering af de senest oplagte elementer.

Det er uklart om afstivningsprofilet, der blev forsøgt fjernet, er deformeret i forbindelse med svigtet, eller fordi det sad i spænd, da kranen forsøgte at løfte det fri. Hvis det sidste er tilfældet, vil dette have påført gitterdragerne en vandret kraft, som har kunnet udløse svigtet – stort set uanset hvor lille denne kraft måtte have været.

På baggrund af ovenstående betragtninger om belastninger og bæreevner vurderes at sikkerhedsniveauet ikke var tilstrækkeligt allerede før afstivningsprofilet blev fjernet.

Udover den direkte manglende sikkerhed over for udknækning vurderes også, at det anvendte princip for fastholdelse er u hensigtsmæssigt og utilstrækkeligt. Da der er anvendt stropper ved begge befæstigelses til betonkonstruktionen, vil den samlede afstivningseffekt mistes, hvis der svigter fx bare en enkelt bolt. Afstivningen kan i den situation betragtes som en brudt kæde. Dette ville ikke have været tilfældet såfremt de yderste afstivninger i stedet for stropper havde været udformet som i de øvrige fag.

Boltesamlingerne i afstivningerne vurderes desuden at være underdimensionerede, set i forhold til at en enkelt bolt skal kunne optage summen af de kræfter, der skal fastholde alle gitterdragere mod udknækning.

Alt i alt giver dette anledning til en formodning om, at der ikke var foretaget nogen projektering af designsituationen.

Konklusion

Svigtet vurderes at være sket på grund af utilstrækkelig vandret afstivning mod stabilitetssvigt af hoveddragernes overflanger.

Alle områder, hvor der var oplagt betondæk, var i en latent svigttilstand.

Svigtet skete i forbindelse med at en del af afstivningen blev fjernet. Det vurderes dog, at der også inden dette tidspunkt var der en latent risiko for svigt, hvor tilfældige hændelser kunne have udløst svigtet. Især området mellem linie D og F har udgjort en risiko. Her har et tidligere svigt kun været afværget af at tilfældige skævheder i oplægningen af dragere og elementer har udbalanceret hinanden eller resulteret tilfældigt i at en strop blev trækpåvirket og ikke trykpåvirket. Det har dog været en situation, hvor tilfældige ry-

stelser (f. eks. fra den videre elementmontage) eller en mindre horisontal påvirkning et sted i systemet, ville kunne udløse et stabilitetssvigt. For området mellem linie E og H, har friktionskræfter af ukendt (upålidelig) størrelse mellem løst oplagte betondæk og gitterdragerne bidraget til at afværge det latente svigt indtil svigtet i midtersektionen indtraf.

Alt i alt vurderes det, at sikkerheden har været langt fra det niveau, der foreskrives for bærende konstruktioner.

Lovmæssigt grundlag

I Bygningsreglementets generelle afsnit om konstruktioner angives i vejledningsafsnittet (V 4.1, stk.1) at forsvarlig udførelse af byggearbejder også omfatter opførelsesperioden, og at opfyldelse heraf indebærer at kollaps og lignende skal forhindres.

Bygningsreglementet refererer for så vidt angår dokumentation af sikkerhed til danske og europæiske sikkerhedsnormer. Disse normer behandler såvel vedvarende som midlertidige dimensioneringstilstande. Det aktuelle byggeri er opført efter det danske normsystem, og de midlertidige tilstande under opførelsesprocessen kunne være analyseret på grundlag af:

- DS 409 *Norm for projekteringsgrundlag for konstruktioner*
- DS 410 *Norm for last på konstruktioner*
- DS 411 *Norm for betonkonstruktioner*
- DS 412 *Norm for stålkonstruktioner*

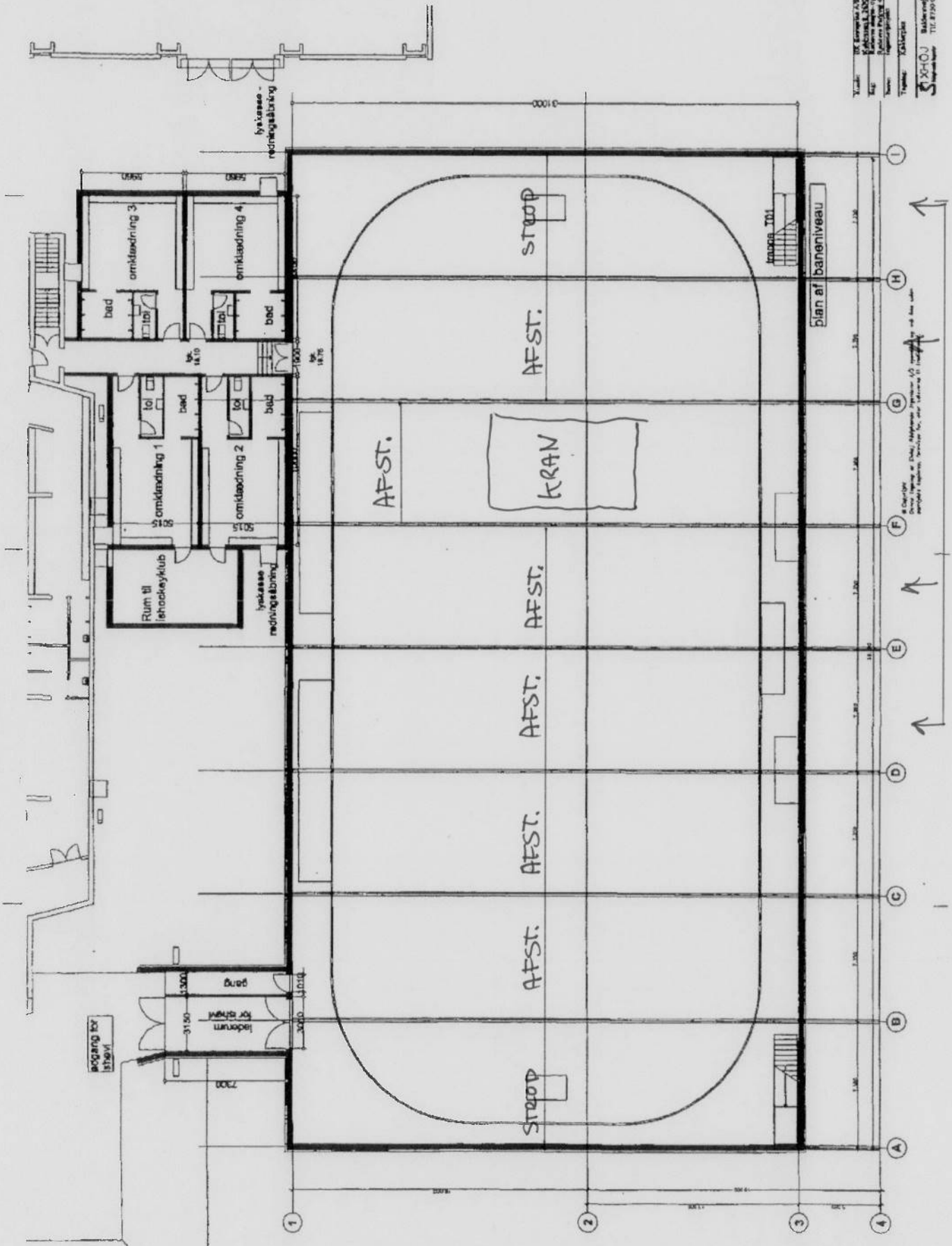
Forhold omkring sikkerheden under et bygværks opførelse er også omfattet af Arbejdsministeriets bekendtgørelse nr. 574 og nr. 1422 vedr. "Bekendtgørelse om projekterendes og rådgiveres pligter mv. efter lov om arbejdsmiljø".

Det påhviler jf. Bygningsreglementets Bilag 4 en af bygherren udpeget bygværksprojekterende at koordinere og samle den statiske dokumentation; herunder statiske beregninger og konstruktionstegninger.

BILAG A PLANTEGNING



Yr: 2011	DK Konsult A/S	Projekt: 10-1330
Udført af: 10-1330-1001	10-1330-1001	10-1330-1001
Udført af: 10-1330-1001	10-1330-1001	10-1330-1001
Udført af: 10-1330-1001	10-1330-1001	10-1330-1001
Udført af: 10-1330-1001	10-1330-1001	10-1330-1001

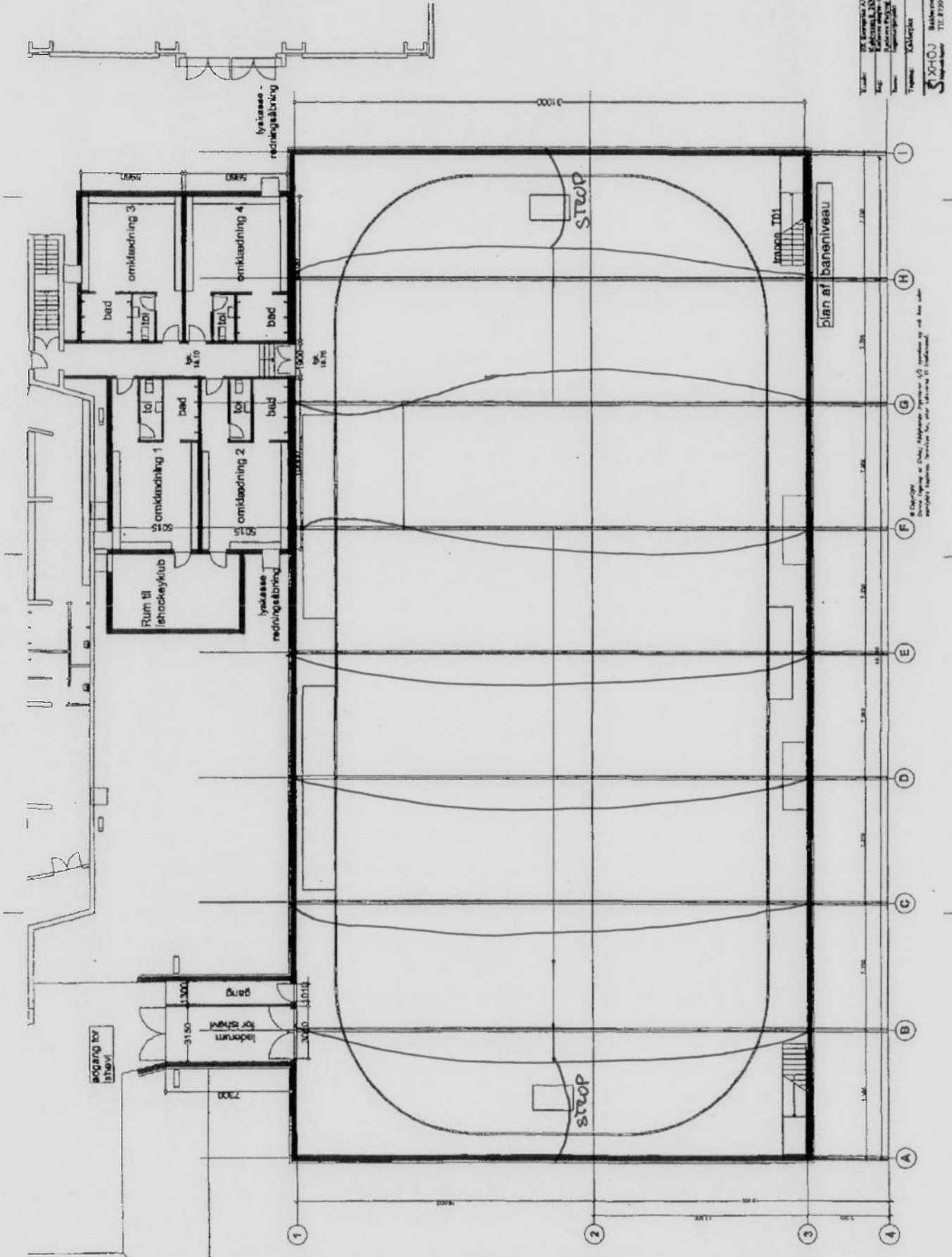


DEK MONTEREDE

BILAG B GRUPPESVIKT MED AÆSTIVNING



Vejledning	DK 5600/2007	11/2007
Titel	Gruppensvikt med AÆstivning	11/2007
Forfatter	ArbejdsSynet	11/2007
Udgivelsesdato	11/2007	11/2007
Udgiver	ArbejdsSynet	11/2007
Forfatter	ArbejdsSynet	11/2007
Udgivelsesdato	11/2007	11/2007
Udgiver	ArbejdsSynet	11/2007



© ArbejdsSynet
 Denne tegning er udarbejdet i samarbejde med ArbejdsSynet og den enkelte medarbejder. Tegningen er ikke tilgængelig til offentliggørelse.

plan af baneniveau

trappe TD1

steop

steop

indgang for offentligt

indgang for offentligt

gang

toilet

toilet

toilet

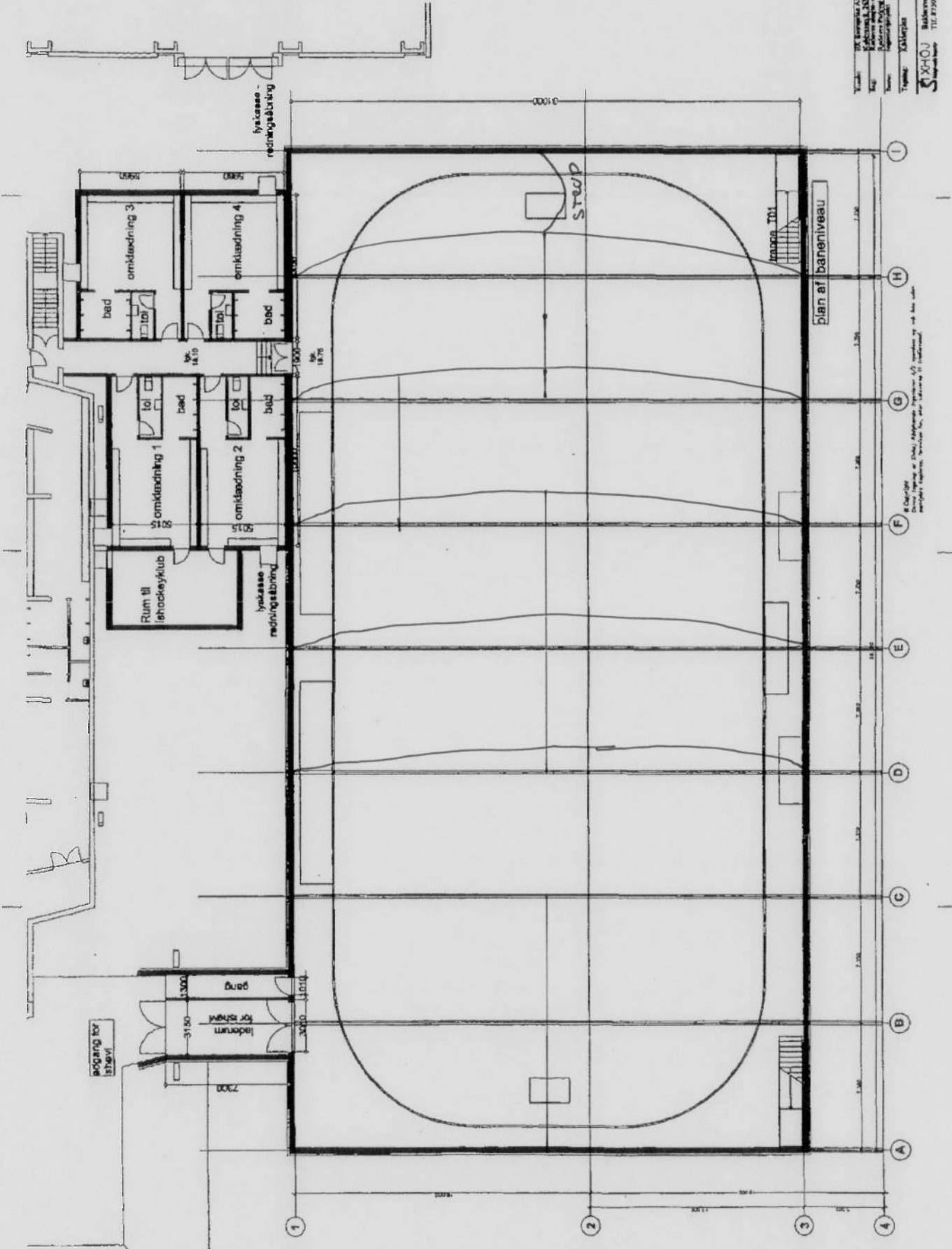
toilet

toilet

BILAG C GRUPPESVIKT MED FJERNET AFSTIVNING



Projekt	IKK - Skovvej 10	Rev. nr.	1
Byggher	IKK - Skovvej 10	Byggher nr.	11.07.08
Byggher	IKK - Skovvej 10	Byggher nr.	11.07.08
Byggher	IKK - Skovvej 10	Byggher nr.	11.07.08
Byggher	IKK - Skovvej 10	Byggher nr.	11.07.08
Byggher	IKK - Skovvej 10	Byggher nr.	11.07.08
Byggher	IKK - Skovvej 10	Byggher nr.	11.07.08
Byggher	IKK - Skovvej 10	Byggher nr.	11.07.08
Byggher	IKK - Skovvej 10	Byggher nr.	11.07.08
Byggher	IKK - Skovvej 10	Byggher nr.	11.07.08



© Copyright
 Ingen aftegning af plan, afsnit eller anden teknisk tegning uden tilladelse af arkitekten.